

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Měření při experimentálním zkoušení životnosti**

**Measurements During Experimental Verification of  
Wearing**

Student:	Ing. Josef Rentka
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Josef Rentka**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: **Měření při experimentálním ověřování opotřebení**  
**Measurements During Experimental Verification of Wearing**

Zásady pro vypracování:

V diplomové práci se zabývejte možnostmi experimentálního použití metod technické diagnostiky a jejich použití pro sledování dějů vznikajících při lisování. Zvolte vhodné metody pro tyto experimenty, vyberte vhodná místa, kde bude vhodné provádět samotné měření. Proveďte potřebná měření, výsledky analyzujte a proveďte závěrečné zhodnocení, případně porovnání výsledků.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Další podrobnější specifikace provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6.

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

*Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.*

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
Podpis studenta



Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....  
Plné jméno diplomanta

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Rentka, J. *Měření při experimentálním ověřování opotřebení*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2013, 81 s.

Diplomová práce, vedoucí: Ing. Blata, J. Ph.D.

V diplomové práci se zabývám možnostmi experimentálního použití metod technické diagnostiky a jejich použití pro sledování dějů vznikajících při lisování. Vhodnou metodou pro tyto experimenty, vyberu vhodná místa, kde bude vhodné provádět samotné měření. Výsledky analyzuji a provedu závěrečné zhodnocení, případně porovnání výsledků.

## **ANNOTATION OF DIPLOMA WORK**

Rentka, J. *Measurements During Experimental Verification of Wearing*. Ostrava: Department of production machines and design, VŠB – Technical University of Ostrava, 2013, 81 s.

Diplomate work, director: Ing. Blata, J. Ph.D.

In this thesis, deal with the possibilities of the use of experimental methods of technical diagnostics and their use for the monitoring of events generated during pressing. The appropriate method for these experiments, I'm selected a suitable position where it will be appropriate to carry out the actual measurements. Analyze the results and do a final evaluation or comparison of results.

Seznam použitého značení a zkratk .....	9
1. Rešerše a analýza dané problematiky .....	10
1.1. ADASH 4400 VA4Pro .....	10
1.2. Měření vibrací .....	12
1.2.1. Snímače vibrací .....	12
1.2.1.1. Princip snímačů přiblížení .....	13
1.2.1.2. Princip snímačů rychlosti .....	14
1.2.1.3. Akcelerometry .....	15
1.2.2. Uchycení snímačů .....	16
1.2.2.1. Uchycení pomocí šroubů .....	17
1.2.2.2. Uchycení pomocí lepidel .....	18
1.2.3. Vliv prostředí na snímače .....	19
1.2.4. Umístění snímačů .....	19
1.2.4.1. Snímače přiblížení .....	20
1.2.5. Snímač rychlosti, zrychlení .....	20
1.3. Měření otáček .....	20
1.4. MMM – Metal Magnetic Memory .....	21
1.5. Měření teplot .....	23
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky .....	24
2.1. Měření vibrací .....	24
2.1.1. Vytipování vhodných míst pro měření vibrací .....	25
2.2. Metoda MMM – Metal magnetic memory .....	27
2.2.1. Materiál nástroje 19 436 .....	27
2.2.2. Materiál nástroje 19 733 .....	28
2.3. Měření pomocí termovizní kamery .....	28
3. Aplikace na daný objekt .....	30
3.1. Zkušební stroj ZD 40 .....	30
3.2. Měření vibrací – měřící body .....	31
3.2.1. Princip značení míst pro měření vibrací .....	33
3.2.2. Hodnocení vibrací .....	33
3.3. Řemenový pohon .....	34
3.3.1. Opatřebené, volné či nesprávně přizpůsobené řemeny .....	35
3.3.2. Nesouosost řemene a řemenic .....	37
3.3.3. Excentrické řemenice .....	37
3.3.4. Rezonance řemene .....	37
3.4. Měření otáček .....	37
3.5. Měření metodou MMM – Metal magnetic memory .....	38
3.6. Měření termovizní kamerou Ti55 .....	40

3.7.	Tetenal kameralack .....	41
3.8.	Simulační software Qform3D .....	42
4.	Měření .....	43
4.1.	Výsledky měření otáček a parametrů řemenů .....	43
4.1.1.	Výsledky měření otáček motoru .....	43
4.1.2.	Výsledky měření otáček čerpadla .....	43
4.1.3.	Parametry řemene .....	43
4.2.	Výsledky měření vibrací .....	44
4.2.1.	Orbity vibrací .....	46
4.2.2.	Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru .....	48
4.2.3.	Spektra vibrací na čerpadle .....	52
4.2.4.	Rozložení vibrací na čerpadle a motoru .....	56
4.3.	Výsledky měření metodou MMM – Metal magnetic memory .....	57
4.4.	Výsledky měření termovizní kamerou .....	67
4.5.	Porovnání měření termovizní kamerou a výsledku výpočtu v simulačním software Qform3D .....	73
5.	Provozní vyhodnocení .....	75
5.1.	Vyhodnocení měření vibrací .....	75
5.2.	Vyhodnocení měření metodou MMM .....	75
5.3.	Vyhodnocení termo-snímků .....	76
6.	Seznam použité literatury .....	77
7.	Přílohy .....	80
A.	Výkres nástroje první a druhé sady z materiálu 19 733 .....	80
B.	Výkres nástroje první a druhé sady z materiálu 19 436 .....	81

## Seznam použitého značení a zkratek

Symbol	Význam	Použité jednotky
AC (kanál)	Střídavý signální vstupní kanál	
DC (kanál)	Stejnoseměrný signální vstupní kanál	
Firmware	Aplikační program nižší úrovně	
ICP	Integrated Circuit Piezoelectronic – senzory s vestavěným mikroelektronickým zesilovačem.	
MMM	Metal magnet memory	
PC	Personal Computer – osobní počítač	
SCZ	Stress concentration zones	
$f_o$	Frekvence otáčení	[Hz]
$d_{\tilde{r}}$	Průměr řemenice	[mm]
$l$	Délka řemene	[mm]
$f_{\tilde{r}}$	Řemenová frekvence	[Hz]
$z_{\tilde{r}}$	Počet zubů řemene	[1]
$f_o$	Otáčková frekvence	[Hz]
HRC	Jednotka tvrdosti dle Rockwella	[HRC]
n	Otáčky	[ot/min]

# 1. Rešerše a analýza dané problematiky

## 1.1. ADASH 4400 VA4Pro

Pro tvorbu této kapitoly byly čerpány údaje z literatury [6].

Moderní měřicí přístroj ADASH 4400 VA4Pro je nejnovějším měřicím přístrojem od zmiňované firmy.

Pro měření je přístroj vybaven 4mi plně simultánními synchronními kanály AC nebo DC – AC s možností ICP napájení a jedním vstupem pro tachometrový signál (pro externí spouštění). Tyto vstupy jsou dobře přístupné viz. obr. 1.

Přístroj je kombinací analyzátoru a datakolektoru. Umožňuje tedy měření na místě, nebo pomocí datakolektoru provést sběr informací z vytypovaných míst a jejich pozdější vyhodnocení.

Přístroj je neustále inovován pomocí tzv. firmware, díky tomu máme k dispozici neustále opravované a vylepšované funkce. Přístroj kromě datakolektoru a analyzátoru podporuje provozní vyvažování strojů, měření rozběhů a doběhů v neposlední řadě disponuje modulem signálového rekordéru.

Přístroj disponuje programy pro okamžité zpracování dat. Mezi nejdůležitější patří FFT – rychlá Fourierova transformace, ENVELOPE – obálková metoda, ACMT – analýza stavu pomaloběžných ložisek, řádová analýza, měření v uživatelských pásmech, měření otáček, měření procesních veličin.



Obr. 1: Vrchní část přístroje [6]

Přístroj je vybaven dotykovou obrazovkou, jeho ovládání je proto intuitivní. Po stranách displeje je rozmístěno několik dotykových snímačů (obr. 2), které mění svoji funkci podle aktuálních požadavků programu.



Obr. 2:Čelní strana přístroje [6]

Přístroj je možné používat na vestavěnou baterii (cca 6 hod.), nebo použít síťový adaptér.

Předností tohoto systému je možnost provádět měření na pc, bez vlastnictví samotného přístroje. Zapotřebí je pouze rozhraní tzv. Signal analyzer box (obr. 3), která propojíme s počítačem a po nainstalování virtuální jednotky A4400 můžeme provádět měření. Nevýhodou je ztráta mobility a jednotného řešení, náchylnosti na rušení atd.



Obr. 3: Signal analyzer box rozhraní [6]

## 1.2. Měření vibrací

Pro tvorbu této a následujících podkapitol byla použita tato literatura [1,2,3,4,5,7,8].

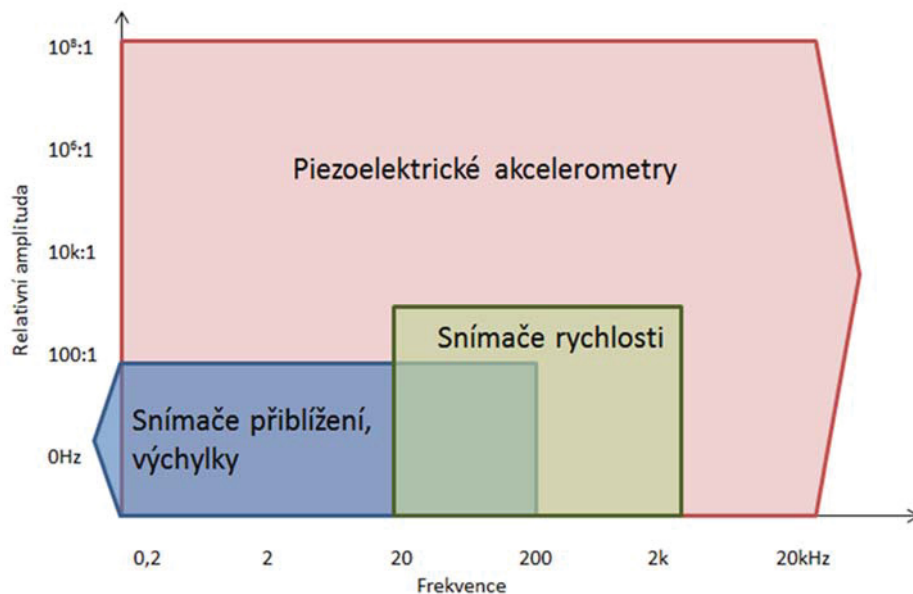
### 1.2.1. Snímače vibrací

Existuje velké množství snímačů. Snímače je vhodné rozdělit do tří základních skupin, podle primárního výstupu snímačů.

- Snímače výchylky
- Snímače rychlosti
- Snímače zrychlení

Jednotlivé typy se liší potřebou integrace (zrychlení -> výchylka), nebo derivace (výchylka -> zrychlení). S nástupem výpočetní techniky se práce se snímači a jejich převodem mezi jednotlivé veličiny velmi zjednodušila.

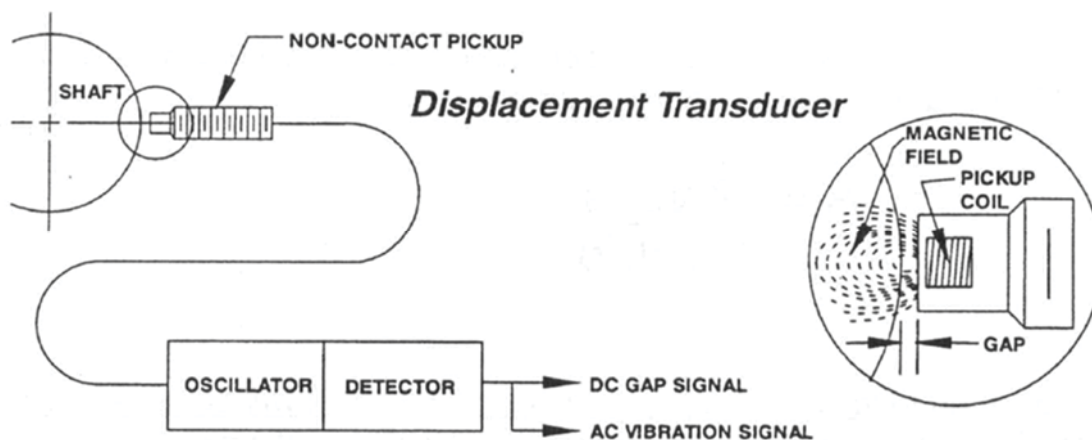




Obr. 4: Pracovní rozsahy snímačů [3]

Každý senzor není vhodný do všech provozních podmínek, proto je vhodné používat pro danou aplikaci doporučený snímač viz. obr. 4. Nejvýhodnějším snímačem se jeví piezoelektrické akcelerometry, které pokrývají celé spektrum frekvencí a relativní amplitudy.

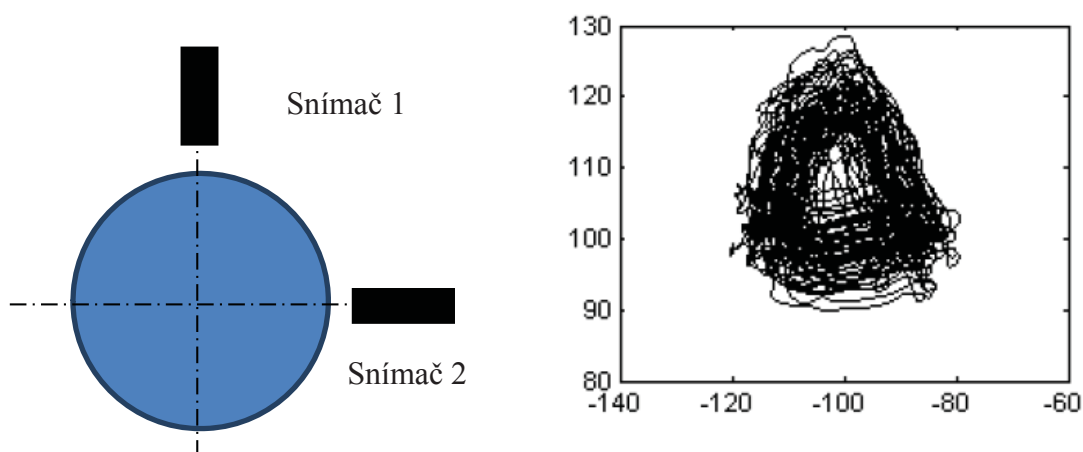
### 1.2.1.1. Princip snímačů přiblížení



Obr. 5: Princip snímače přiblížení [1]

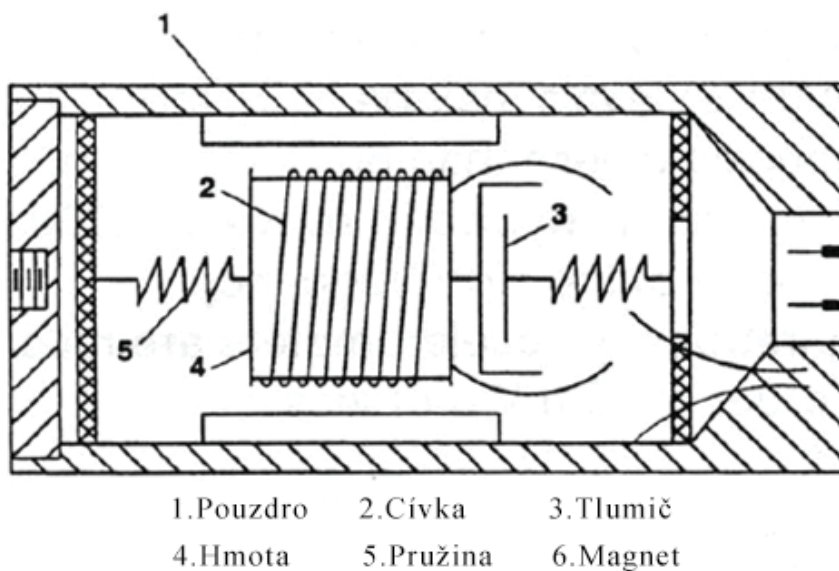
Snímač pracuje bezdotykově na principu (obr. 5) vířivých proudů. Pro praktické měření se používají dva snímače, které jsou proti sobě pootočené o  $90^\circ$  viz. obr. 6.

Signál ze snímače 1 je tedy oproti snímači 2 zpožděn. Vhodné při měření polohy hřídele – například zobrazení pomocí orbity (obr. 6).



Obr. 6: Umístění snímačů a grafické znázornění orbit [3]

### 1.2.1.2. Princip snímačů rychlosti



Obr. 7: Řez snímačem rychlosti [1]

Snímač pracuje na principu, kdy dochází k měření indukovanému napětí, které generuje cívka v magnetickém poli, když dojde k výchylce součásti na které je přichycen snímač (obr. 7).

### 1.2.1.3. Akcelerometry

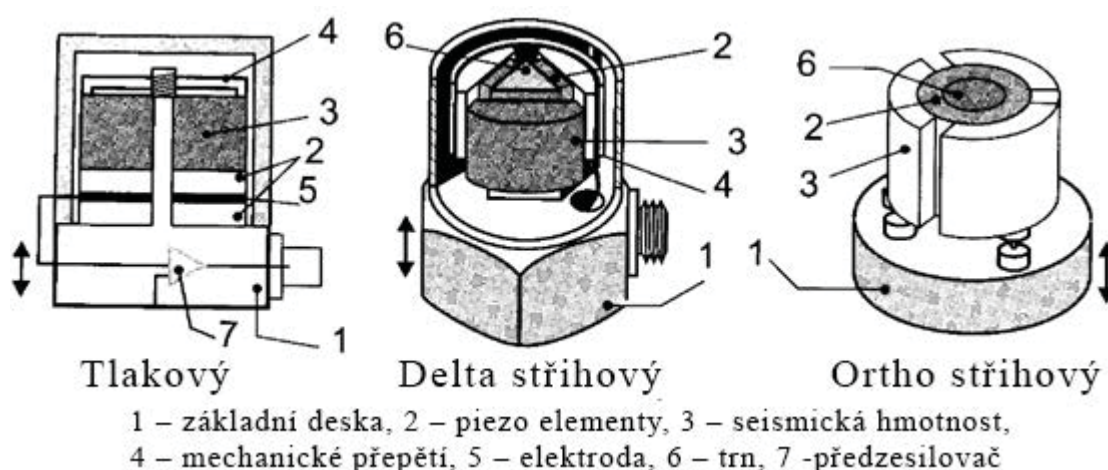
Akcelerometry se rozdělují podle použité technologie, která převádí změnu pohybu na elektrický signál. Základní druhy:

- piezoelektrické akcelerometry
- piezoresistivní akcelerometry
- akcelerometry s proměnnou kapacitou

Ale také podle vnitřního uspořádání jako je na obr. 8.

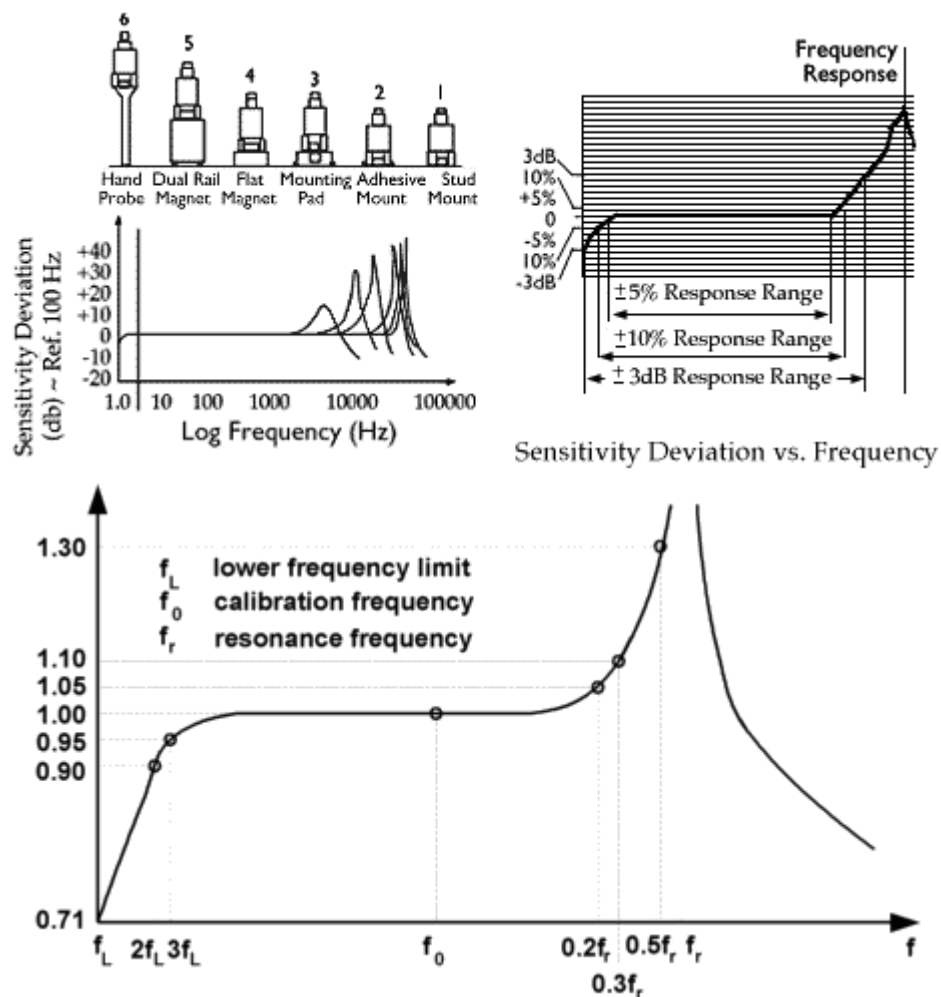
Snímače zrychlení mají celou řadu pozitivních vlastností, vhodnost daného snímače je dána vhodnou frekvenční charakteristikou snímače.

Nejvíce používaný typ akcelerometru je piezoelektrický, který má výhodu v generování náboje přímo úměrného k působící síle. Využívá se piezoelektrického krystalu ať již přírodního nebo keramického.



Obr. 8: Základní typy piezoelektrických akcelerometrů [3]

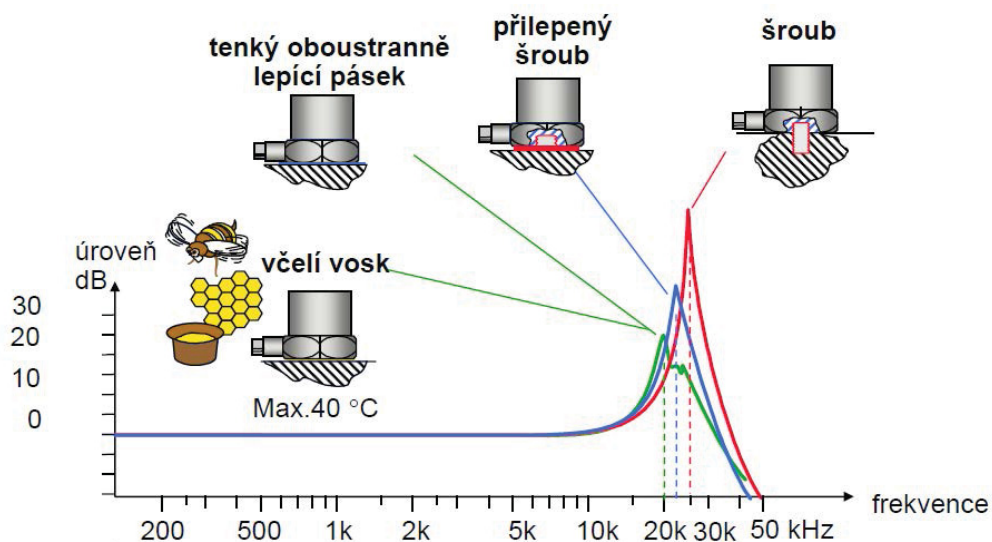
Piezoelektrické akcelerometry jsou omezeny, mohou měřit pouze uvnitř platného provozního frekvenčního rozsahu, viz. obr. 9. Frekvenční rozsah je dán konstrukcí senzoru (obr. 8).



Obr. 9: Frekvenční závislost piezo akcelerometrů a závislost citlivosti na frekvenci a typu snímače [3]

### 1.2.2. Uchycení snímačů

Způsob uchycení jednotlivých druhů snímačů je důležitým prvkem pro správné měření údajů. Způsob uchycení a jeho vliv na měření je patrný z obr. 10.



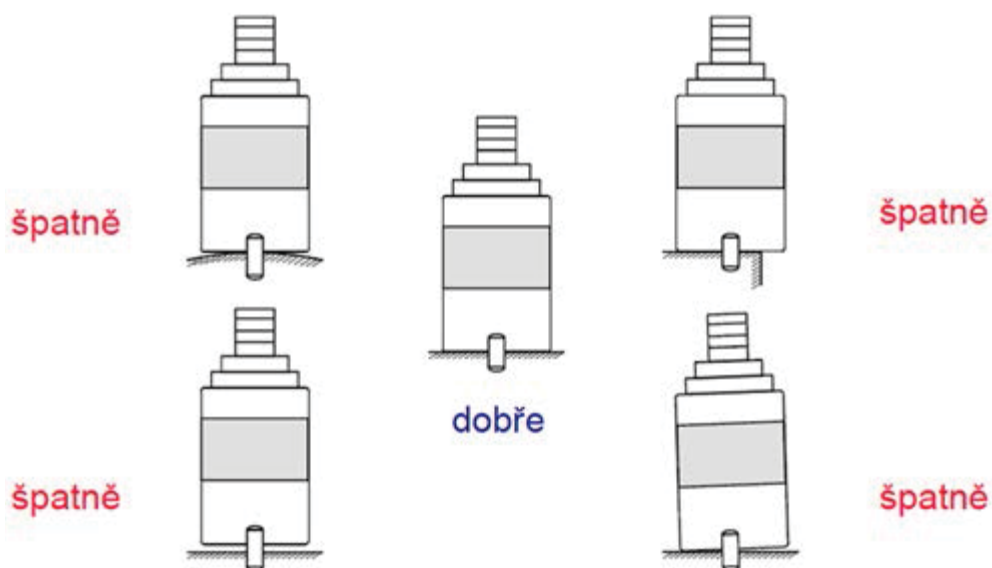
Obr. 10: Způsob uchycení snímače a jeho vliv na úroveň signálů [1]

### 1.2.2.1. Uchycení pomocí šroubů

Většinou jsou snímače opatřeny vnitřním závitem o velikosti M6. Při uchycování snímače je nutné dát pozor, aby lepidlo šroubu nevniklo do snímače, znemožnilo by demontáž snímače.

Vhodné pro stálé připojení snímače – např. pochůzkové měření. Výhodou je kvalitní přenos stroj snímač.

Snímač musí být v kontaktu s měřeným tělesem celou plochou, nutno dodržet základní pravidla pro umísťování snímačů (obr. 11). Pokud je plocha znečištěna je nutno plochy očistit, korozi odstranit.

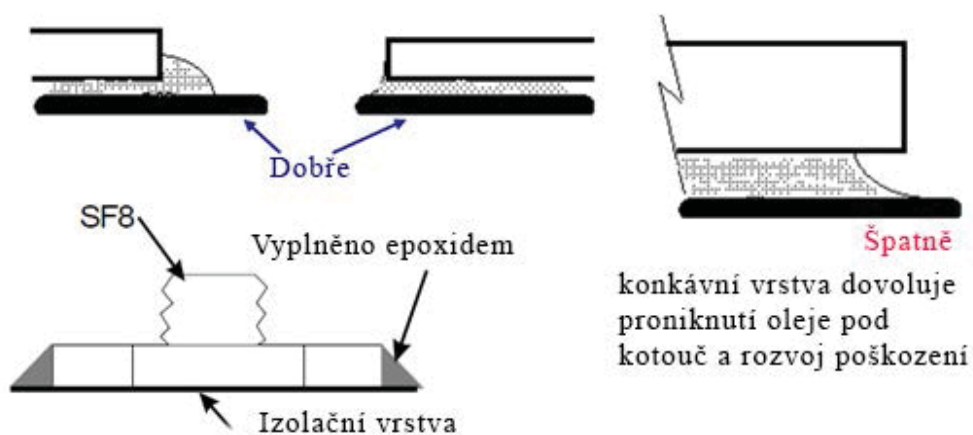


Obr. 11: Uchycení pomocí šroubu [1]

#### 1.2.2.2. Uchycení pomocí lepidel

Lepení snímačů se nesmí provádět za chodu stroje, předejdeme tím uvolnění (obr. 12), které hrozí u strojů s většími vibracemi. Lepení by mělo probíhat při teplotách nad 0°C, pod bodem mrazu je většina tmelů používaných k lepení nevhodná.

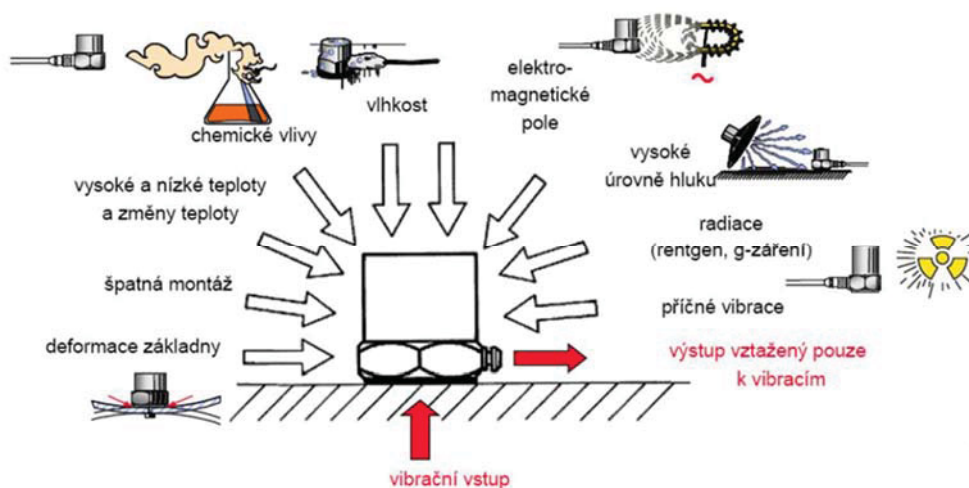
Povrch očistíme, zbavíme rzi, odmastíme. Pokud je povrch hladký je nutno zdrsnit, aby lepidlo přilnulo k povrchu. Důležitá je čistota stykových ploch, pouze čisté plochy nám umožní vytvoření kvalitního spoje.



Obr. 12: Uchycení snímače pomocí lepidel [1]

### 1.2.3. Vliv prostředí na snímače

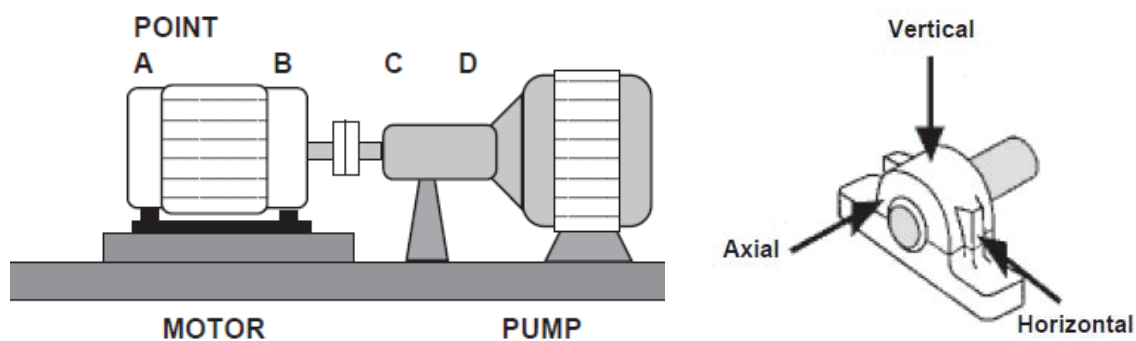
Na snímače působí celá řada okolních vlivů, je nutné zvážit, zda je dané umístění snímače vhodné a zda některý z vlivů (obr. 13) neovlivní naměřené hodnoty.



Obr. 13: Okolní vlivy působící na snímače [1]

### 1.2.4. Umístění snímačů

Důležité je umístit snímače na místa, které nemohou rezonovat, jako jsou víka, kryty. Zároveň není vhodné umísťovat akcelerometry do středů rovinných krytů. Nejčastější místa pro umístění snímačů jsou znázorněna na obr. 14.



Obr. 14: Typické umístění snímačů [5]



### 1.2.4.1. Snímače přiblížení

Při upevňování snímačů přiblížení je nutné upevnit je tak abychom zaručily stále stejnou polohu (obr. 15), montáž tedy na těleso, které je v pevném spojení s měřeným tělesem.



Obr. 15: Umístění snímačů přiblížení [19]

### 1.2.5. Snímač rychlosti, zrychlení

Princip je v podstatě shodný, důležité je zaručit správný přenos měřené veličiny na snímač.

## 1.3. Měření otáček

K měření otáček je možno použít široké spektrum přístrojů. Často se využívá stroboskopických přístrojů jako na obr. 16. Zde přístroj ADASH VIBRIO III umožňující měřit kromě otáček též vibrace, teplotu.





Obr. 16: Adash Vibrio III [6]

## 1.4. MMM – Metal Magnetic Memory

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [9,14]

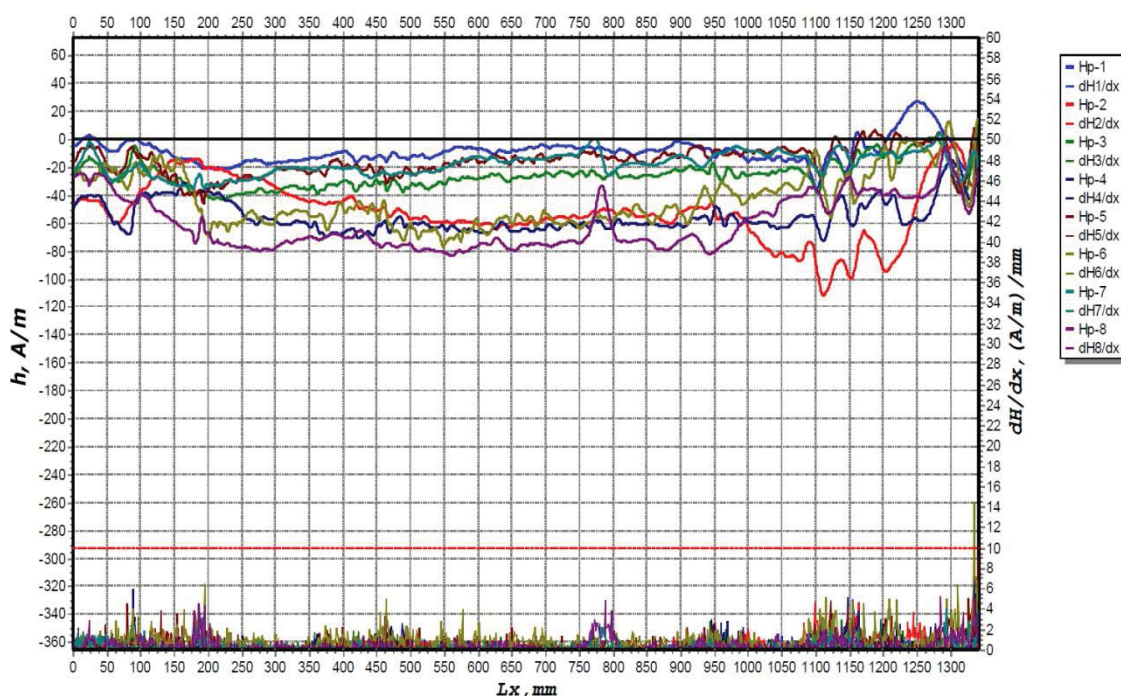
Nedestruktivní metoda, spočívající v měření a analýze rozložení zbytkových magnetických polí v kovových materiálech.

Metoda využívá technologickou historii materiálu, kde se určí tzv. SCZ – Stress Concentration Zones, poruchy a heterogenity v mikrostruktuře. Magnetická paměť vzniká v materiálu během jeho výroby, tepelného zpracování ohýbání, tváření atd., ve formě zbytkové magnetizace.

Existuje široká škála měřicích zařízení lišící se především dle typu požadovaného měření. Zařízení ve specializaci pro měření pod povrchem umožňuje měřit v hloubce 1 až 2m.

Samotné měření probíhá velmi zjednodušeně tak, že se snímačem přejíždí přes kontrolované místo. Přejetí se provádí jednou až vícekrát, dle počtu měřících sond a požadované šířky záběru. Zařízení je vybaveno displejem, kde můžeme zobrazit skenované hodnoty intenzity  $H_p$ , nebo gradient magnetického pole  $dH_p/dx$  (graficky nebo číselně).

Zařízení zobrazuje naměřené údaje ihned, a je možné provést detailnější skenování místa s poruchou. Výstup měření je ve formě tzv. magnetografu – viz. obr. 17.



Obr. 17: Ukázka dobrého magnetografu svarového spoje [9]

Nevýhodou metody je omezení magnetické materiály, nelze tedy diagnostikovat nemagnetické, nebo uměle zmagnetizované materiály, plasty. Není vhodné měřit v blízkosti cizích magnetických předmětů, popřípadě externího magnetického pole do 1m.

Výhodou je nedestruktivnost, rychlost měření, možnost měřit i za provozu. Není potřeba provádět úpravu povrchu měřeného materiálu. Není ovlivněna vibracemi. Metoda MMM umožní včasné diagnostikování únavového poškození.

## 1.5. Měření teplot

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [13,15,16].

Měření teplot je jedna z metod nedestruktivní diagnostiky. Existuje celá škála možností jak změřit teplotu. Dle principu měření dělíme na tyto druhy:

- Dilatační
- Parní
- Odporové
- Polovodičové
- Termoelektrické
- Optovláknové
- Speciální

Každý druh a metoda měření teploty se liší svou vhodností pro různá prostředí a teploty.

Dostatečně rychlé a mobilní přístroje pro měření teplot jsou bezkontaktní měřiče teplot. Jejich velkou výhodou je snadná obsluha rychlost a mobilnost. S bezdotykovým měřením teplot je spojeno velké množství výhod (měření teplot pohybujících se objektů, měření z bezpečné vzdálenosti, rychlých změn teplot, měření celých povrchů těles, zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt), ale i nevýhod jako jsou nejistoty způsobené nesprávnou znalostí hodnoty emisivity povrchu tělesa, nejistoty neznalosti správné hodnoty prostupnosti mezi čidlem a objektem nebo parazitní odražené záření z okolního prostředí.

V diplomové práci využiji termovizní kameru firmy Fluke, typ Ti55 – její použití přinese kvalitativní údaje.

## **2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky**

### **2.1. Měření vibrací**

Pro tuto kapitolu jsem čerpal z literatury [10].

Při výběru akcelerometru pro určitou aplikaci se musí brát zřetel na následující podmínky:

- jaká je amplituda měřených vibrací, frekvence měřených vibrací?
- jaký je rozsah teploty dané instalace?
- jaká je velikost a tvar (vibračního, frekvenčního) signálu, který se má měřit?
- jsou tam elektromagnetická pole, elektrické rušení?
- je povrch, kde má být umístěn snímač, uzemněn?
- je okolní prostředí korozivní?
- vyžaduje se v daném prostředí instalace přístrojů v nevybušném provedení?
- je prostředí vlhké nebo se skrápějící vodou?

Hmotnost akcelerometrů by měla být mnohem menší než hmotnost monitorovaného objektu - systému. Dynamický rozsah akcelerometru má být širší než je předpokládaný rozsah amplitudy.

Frekvenční rozsah akcelerometru má odpovídat předpokládanému rozsahu frekvence.

Citlivost akcelerometru by měla být dostatečná, aby výstupní signál byl kompatibilní s návaznými měřicími a vyhodnocovacími přístroji.

Používá se snímač s nízkou citlivostí pro měření vibrací s vysokou amplitudou a naopak snímač s vysokou citlivostí se použije k měření vibrací s malou amplitudou.

Hodnocením vibrací se zabývá norma ČSN ISO 10 816.

### 2.1.1. Vytipování vhodných míst pro měření vibrací

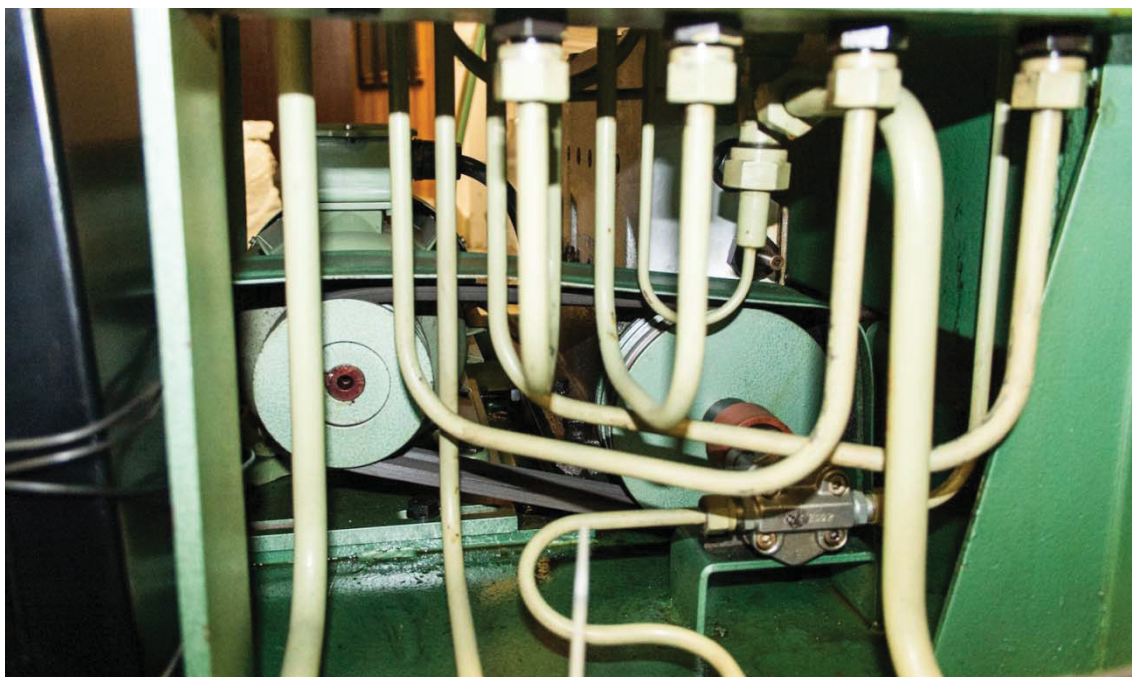


Obr. 18: Motor přestavující funkční plochy

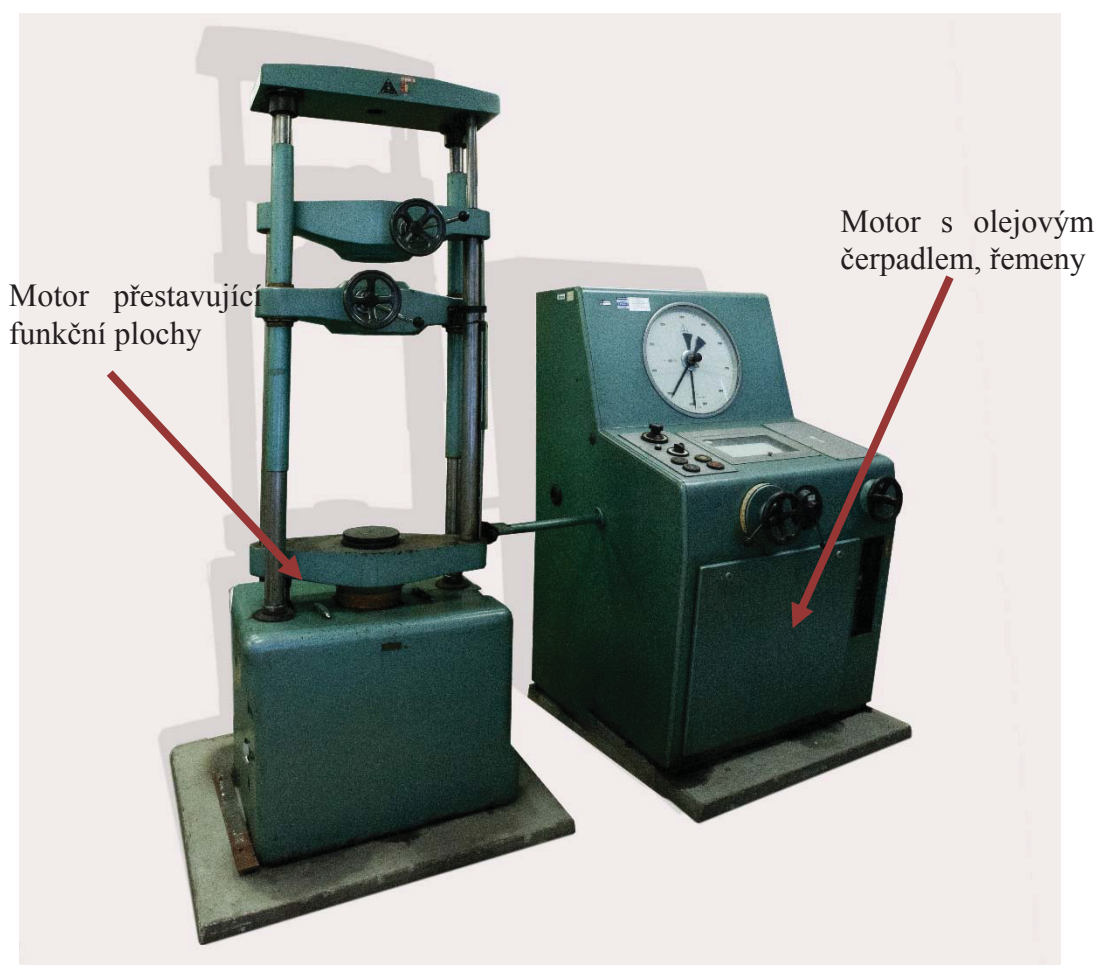


Obr. 19: Elektromotor s olejovým čerpadlem





Obr. 20: Motor s olejovým čerpadlem, řemeny - pohled zepředu



Obr. 21: Celkový pohled na zkušební stroj

Nejvíce opotřebované součásti stroje (obr. 21) z hlediska vibro-diagnostiky se jeví hydraulické čerpadlo a elektromotor (obr. 19, obr. 20), který pohání zmíněné čerpadlo. Motor pro přestavování funkčních ploch (obr. 18) je používán minimálně – pouze pro přestavení – proto nebude měřen.

## **2.2. Metoda MMM – Metal magnetic memory**

Pro tuto kapitolu a její podkapitoly bylo čerpáno z literatury [9,11,12,14].

Nedestruktivní metoda pro měření a analýzu rozložení zbytkových magnetických polí měřeného materiálu. Tato metoda bude použita pro měření rozložení zbytkových polí na zkušebním nástroji.

Měření bude provedeno několikrát během experimentu, aby byli výsledky věrohodné. Využívám změny magnetismu vlivem provozního zatížení.

Pomocí tohoto přístroje bude možné stanovit průběh napětí v nástrojích během celého experimentu, a zároveň bude možno předpovědět trend vývoje napětí v nástroji. MMM metoda nebude použita na jiné měření, než výše zmíněné.

### **2.2.1. Materiál nástroje 19 436**

Vysoce chromovaná ocel, s dobrou prokalitelností, odolná proti opotřebení. Materiál má vysokou pevnost v tlaku. Materiál vhodný pro nástroje s velkou životností, pro stříhání na lisech, děrování materiálů.

Mez kluzu materiálu dosahuje 2 850 MPa. Chemické složení viz. tab. 1. V zušlechtěném stavu materiál dosahuje tvrdosti 62HRC.

Tab. 1: Chemické složení materiálu 19 436

<b>Chemické složení v %</b>						
C	Mn	Si	Cr	Ni <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
1,80÷2,05	0,20÷0,45	0,20÷0,45	11,0÷12,5	0,5	0,03	0,035

### 2.2.2. Materiál nástroje 19 733

Chrom wolfram křemík vanadová ocel vhodná pro práci za studena, vhodná ke kalení se střední prokalitelností. Materiál má velmi vysokou houževnatost a odolnost proti dynamickému namáhání, opotřebení. Používá se na nástroje pro prostřihování a děrování materiálu za studena, pro materiály vyšších pevností, nůžky, nástroje pro ražení složitých tvarů.

Mez kluzu materiálu dosahuje 1 800 MPa. Chemické složení viz. tab. 2.

Tab. 2: Chemické složení materiálu 19 733

<b>Chemické složení v %</b>								
C	Mn	Si	Cr	W	V	Ni <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
0,55÷0,65	0,15÷0,40	0,45÷0,75	1,0÷1,3	1,8÷2,3	0,10÷0,25	0,25	0,03	0,035

## 2.3. Měření pomocí termovizní kamery

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [13,15,16].

Nedestruktivní metoda založená na principu zobrazení vyhodnocení teplotního pole povrchu testovaného objektu. V diagnostice se využívají dva typy termografie – aktivní, pasivní. Při měření velkých celků není možné používat aktivní termografie (řízená stimulace tepelné vlny v tělese), a používá se pasivní termografie.



Pasivní termografie funguje na principu vývinu tepelné energie a absorpcí tepla během provozu zařízení. Na termografickém snímku lze vyhodnotit opotřebení mechanického prvku. Ukázkově například ložisko, převodovka kde se projeví třením zvýšená teplota.

Hodnotí se rozdíl mezi teplotami na vybraných místech na povrchu měřeného objektu a mezi teplotami referenčními. Zpracování údajů je prováděno simultánně a zobrazuje se přímo na LCD. Vyhodnocení je možné provést ihned na přístrojích popřípadě na PC.

Nevýhodou je možné chybné vyhodnocení termovizních snímku vlivem artefaktů způsobených prostředím, nehomogenitou emisivity atd.

### 3. Aplikace na daný objekt

#### 3.1. Zkušební stroj ZD 40

Experiment probíhá na stroji od německé firmy WPM Leipzig – Testing machines. Jedná se o kombinovaný zkušební stroj pro zkoušky tahem a tlakem, konkrétně ZD 40.

Stroj je pravidelně kalibrován, disponuje propojením s počítačem, na kterém je pomocí software možné sledovat a zaznamenávat jednotlivé veličiny (tlak, posuv, čas atd.).



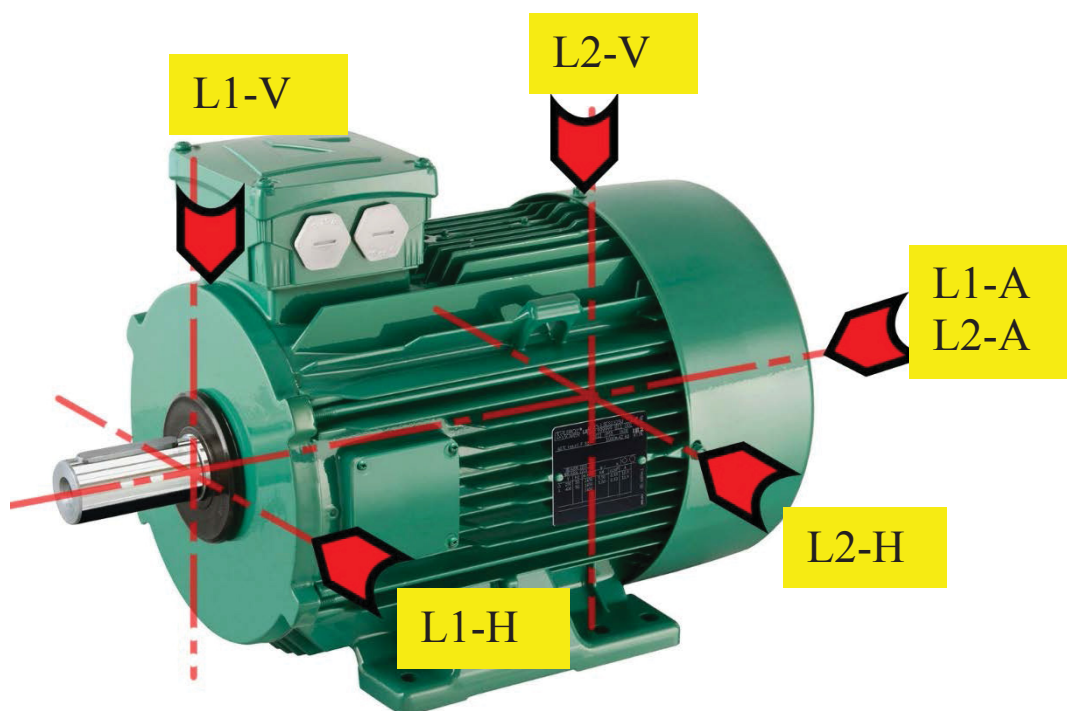
Obr. 22: Kombinovaný hydraulický lis ZD 40

### 3.2. Měření vibrací – měřící body

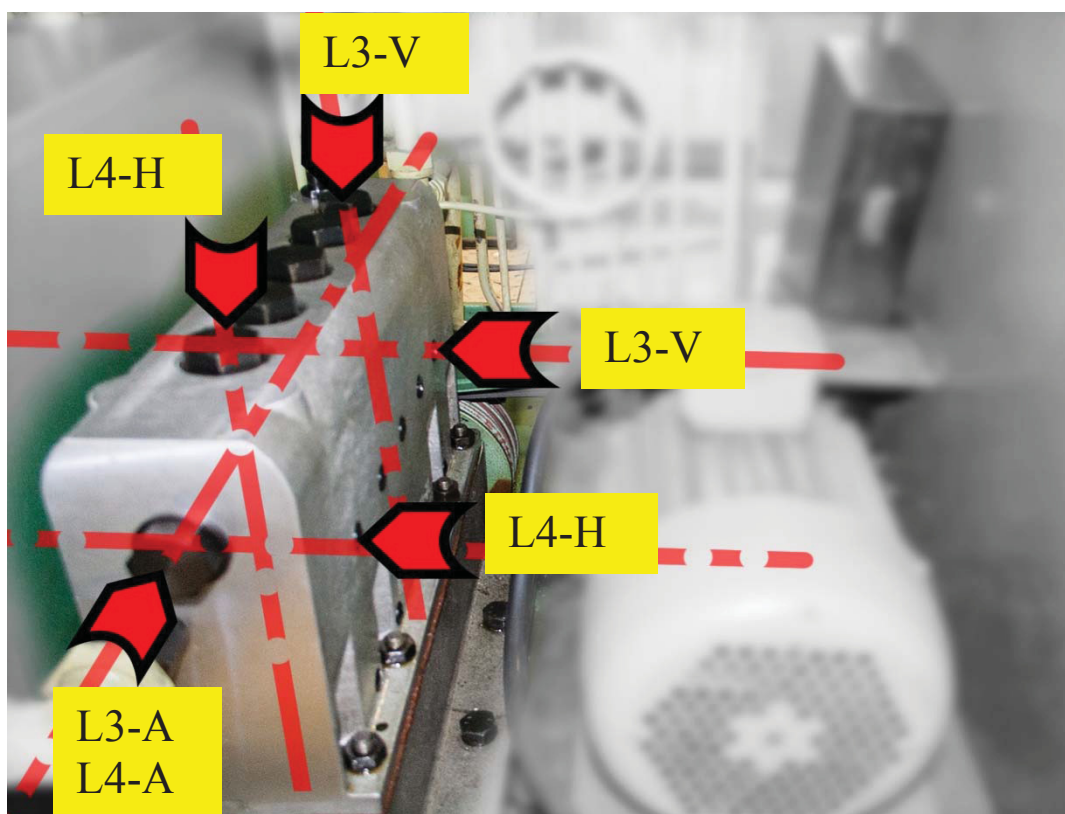
Jako nejzajímavější místo pro měření vibrací vidím elektromotor. Jsou zde namáhána ložiska, projeví se zde vibrace vznikající špatným vyvážením rotoru a namáháním od řemenic.

Druhé místo vhodné pro měření stavu ložisek se jeví olejové čerpadlo, které je namáháno přes řemenici od motoru.

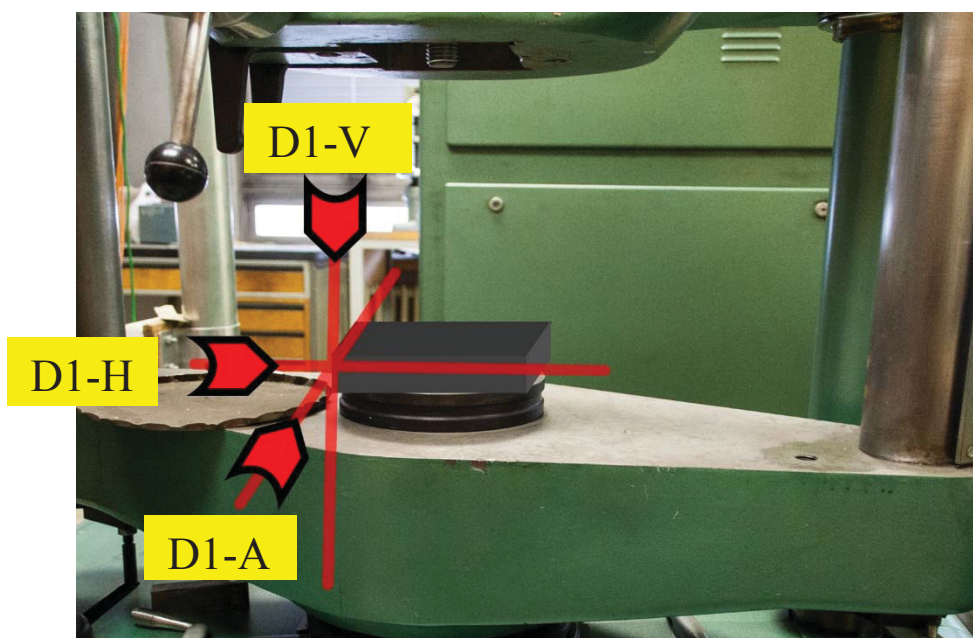
Rozmístění měřících snímačů provedu dle následujících obrázků. Připravil jsem si dvě varianty umístění snímačů, které jsou ilustrovány níže – jedná se o jiný typ motoru!! Volba jednoho z rozmístění bude provedena až na místě dle dispozice a možností.



Obr. 23: Rozmístění snímačů na motoru (L2-MOTL1, L1-MOTL1) [ 23 ]



Obr. 25: Rozmístění snímačů na čerpadle (L2-MOTL3, L1-MOTL4)



Obr. 24 Rozmístění snímačů na desce (TVARENI1 a TVARENI2 – 11 523, TVARENI3 a TVARENI4 14 220)

### 3.2.1. Princip značení míst pro měření vibrací

Systém značení měřících míst není specifikován, je tudíž možné volit takový systém značení, který mi vyhovuje. Důležité je aby nedošlo k špatné interpretaci, či záměně měřícího místa.

- **L X - X** – L – ložisko, D – deska
- **X 1 - X** – Pořadové číslo měření
- **X X - A** – Označení měřené osy
  - A – Axiální
  - H – Horizontální
  - V – Vertikální

### 3.2.2. Hodnocení vibrací

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [ 20 ].

Pro hodnocení vibrací budu vycházet z platné normy ČSN ISO 10 816, která se zabývá hodnocením vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech.

Přístrojem Adash 4400 bude provedeno měření na označených místech dle kapitoly 3.2. Zpracováním naměřených hodnot bude hodnota velikosti vibrací v daném místě a směru. Velikost vibrací lze posoudit pomocí efektivní hodnoty rychlosti vibrací, špičkovou hodnotou výchylky nebo zrychlení. Nejvhodnější je efektivní hodnota rychlosti vibrací, protože lze stáhnout k energii vibrací.

Dle normy je stroj zatříděn do jedné ze čtyř tříd dle výkonu. Pro lis je určena třída 1, tedy do výkonu 15kW. Vibrace a jejich pásma v dané třídě jsou patrná z tab. 3

- Pásmo A – za obvyklých podmínek vibrace nových přejímaných strojů
- Pásmo B – stroje s těmito vibracemi mohou být provozovány po neomezeně dlouhou dobu
- Pásmo C – neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz, obecně provozovány do doby opravy

- Pásmo D – nebezpečné, mohou poškodit stroj

Tab. 3: Typické hranice pásem vibrací [20]

<b>Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]</b>	<b>Třída I</b>	<b>Třída II</b>	<b>Třída III</b>	<b>Třída IV</b>
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

### 3.3. Řemenový pohon

V této kapitole a jejích podkapitolách bylo čerpáno z literatury [ 24 ]

Pokud se vyskytuje na měřené soustavě převod řemenem, obsahují spektra tzv. řemenovou frekvenci. Problematika řemenových pohonů v sobě zahrnuje tyto části:

- Opatřebené, volné či nesprávně přizpůsobené řemeny
- Nesouosost řemene a řemenic
- Excentrické řemenice
- Rezonance řemene

### 3.3.1. Opotřebené, volné či nesprávně přizpůsobené řemeny

Nejčastěji se vyskytující problém je opotřebený nebo volný řemen. Špatné ustavení a předepnutí je také častý zdroj problémů. Opotřebený řemen je možné poznat pohledově. Naproti tomu volné či nesprávně přizpůsobené řemeny je potřeba zkušeností.

Pro správné zhodnocení je možno využít naměřeného frekvenčního spektra a vyhodnotit jednotlivé jeho složky (obr. 26), jako řemenovou frekvenci, časovací řemenovou frekvenci atd.

Řemenové frekvence jsou pod otáčkovou frekvencí motoru nebo hnaného stroje. Pokud jsou řemeny opotřebené, volné či nepřizpůsobené, způsobují vysoké vibrace na  $3 \div 4$  násobku řemenové frekvence. Často je dominantní špičkou dvojnásobná řemenová frekvence. Amplitudy jsou normálně neustálené, někdy pulzují frekvencí otáčení hnací nebo hnané části.

U časovacích řemenových pohonů je opotřebený nebo nesouosost řemenice indikována vysokými amplitudami na časovací řemenové frekvenci.

Velikost vypočtených hodnot je v reálném procesu nižší vlivem skluzu na řemenicích.

#### Řemenová frekvence

$$f_{\tilde{r}} = \frac{\pi \cdot f_o \cdot d_r}{l} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{Rovnice 3-1})$$

Kde:

- $f_o$  - frekvence otáčení [Hz]
- $d_r$  - průměr řemenice [mm]
- $l$  - délka řemene [mm]

#### Časovací řemenová frekvence

$$f_{\tilde{c}\tilde{r}} = f_{\tilde{r}} \cdot z_r = f_o \cdot z_r \quad [\text{Hz}] \quad (\text{Rovnice 3-2})$$

Kde:

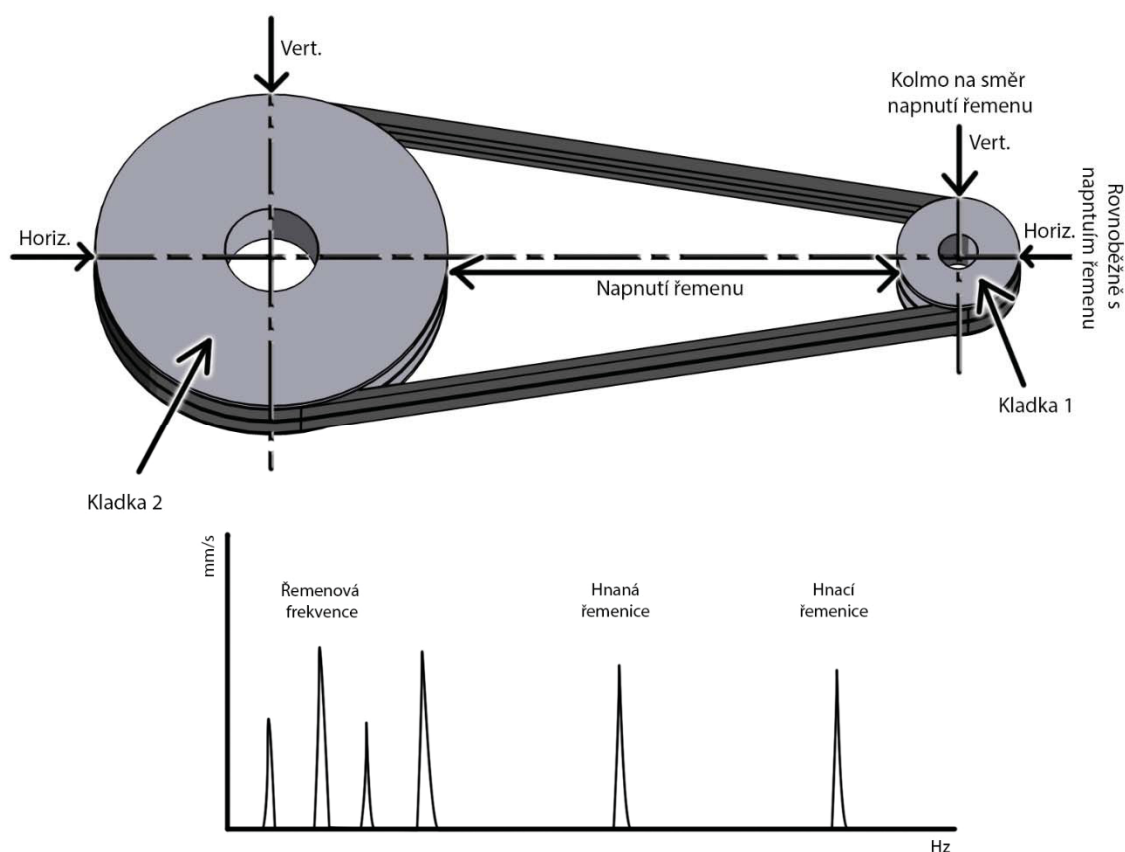
- $f_{\check{r}}$  - časovací řemenová frekvence [Hz]
- $f_{\check{r}}$  - řemenová frekvence [Hz]
- $f_o$  - frekvence otáčení [Hz]
- $z_r$  - počet zubů řemene [1]

### Otáčková frekvence

$$f_o = \frac{n}{60} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{Rovnice 3-3})$$

Kde:

- $n$  - otáčky [ot/min]



Obr. 26: Typické znaky opotřebovaného, volného či nesprávně přizpůsobeného řemenu ve frekvenčním spektru



### **3.3.2. Nesouosost řemene a řemenic**

Nesouosost většinou způsobena špatným ustavením řemenic, nebo částí strojů. Nesouosost způsobuje vysoké vibrace na jednonásobku otáček řemenice. Vibrace jsou nejčastěji ve směru axiálním. Mohou nastat tři případy:

- Přesazené řemenice
- Natočené řemenice
- Úhlově otočené osy řemenice

### **3.3.3. Excentrické řemenice**

Excentrické řemenice způsobují vysoké vibrace na jednonásobku otáčkové frekvence řemenice. Amplituda je nejvyšší zpravidla ve směru řemenů, měla by se projevit i na ložiskách v hnané/hnací části stroje. Vhodné excentricitu odstranit, protože budí střídavá napětí do řemenů – snižujeme životnost.

### **3.3.4. Rezonance řemene**

Způsobuje velké amplitudy, pokud se blíží k frekvenci otáček motoru. Frekvenci řemene můžeme změnit změnou napnutí řemene. Za provozu má řemen tendenci mít vyšší vlastní frekvenci na tahové straně řemene.

## **3.4. Měření otáček**

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [ 22 ].

Pro měření otáček na motoru a čerpadle bylo použito přístroje ADASH 4900 Vibrio III. Pro určení otáček je možné použít dva režimy a to: strobo nebo automatické určení otáček z frekvenčního spektra.

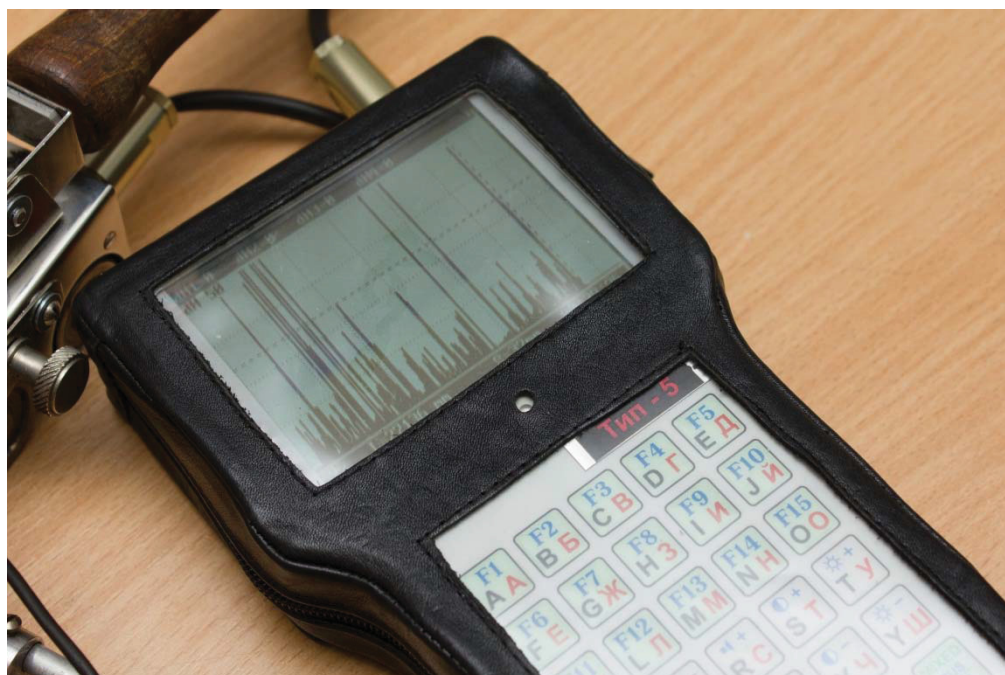
Určení otáček z frekvenčního spektra pracuje na principu soustředění se na energii vibrací v úzkém pásmu, tam předpokládá frekvenci otáčkovou. Tato metoda určení otáček není vždy použitelná.

Měření proběhne v modu přístroje STROBO. Principem je zastavení značek umístěných na rotujících řemenicích motoru a čerpadla při nalezené správné frekvenci otáčení. Přístroj ADASH 4900 Vibrio III namíříme LED na značku, pomocí kláves měníme frekvenci blikání led diody na čele přístroje. Otáčející se značky pomalu ustálí, když frekvence otáčení je stejná jako frekvence záblesků led.

### 3.5. Měření metodou MMM – Metal magnetic memory

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [9,14]

Měření bude provedeno pomocí přístroje TSC-3M-12 (obr. 27), výroby ruské firmy Energodiagnostika Co. Ltd.. Zařízení je vícekanálové, umožňuje připojit až 18 různých druhů měřících sond, které umožní změření hodnot intenzity magnetického pole až do rychlosti 0,5m/s. Dle výrobce hodnota napětí vyšší než 30 A/m/mm indikuje trhlinu.



Obr. 27: TSC-3M-12

Zařízení umožňuje ukládání hodnot do vnitřní paměti přístroje, a jejich analýzu na osobním počítači (notebooku). Pro automatizaci měření je možné nastavit přístroj do tzv. timer módu, kdy odečet hodnot je prováděn po určité, uživatelem nastavené, době. Timer mód je vhodný pro měření pohybujících se elementů s konstantní rychlostí.

Přístroj slouží jako záznamové a vyhodnocovací zařízení. K samotnému měření je potřeba připojit měřicí sondu – popřípadě vícero měřících sond. Výrobce dodává široké spektrum měřících zařízení. K dispozici je pouze sonda typu 1 – je to kombinace vozičku a jednotlivých sond, které připojí kabelem k samotnému zařízení.

Protože zkoumané desky (nástroje) jsou velmi malé a není možné použít tento typ měřící sondy, bude pro informativní účely odmontována jedna měřící sonda a tou bude zkoumán povrch (obr. 28). Naměřené hodnoty budou pouze informativní – nebudou korespondovat s lokací případné vady na nástroji.



Obr. 28: Demontovaná měřící sonda při měření

### 3.6. Měření termovizní kamerou Ti55

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [15, 16]

K dalšímu měření bude použita výkonná termovizní kamera Ti55 (obr. 29) výrobce firmy Fluke. Mezi hlavní přednosti této termovizní kamery patří vysoké rozlišení, citlivost automatické zarovnání optického a infračerveného snímku (paralaxní korekce) atd.

Kamera má vyměnitelné baterie čímž umožní vysokou flexibilitu, ke snímku lze připojit poznámky. Mezi další výhody zařízení patří její konstrukce, která dle výrobce ochrání přístroj pro pád z 2m výšky, proti vodě a prachu je testována na stupeň krytí IP54.



Obr. 29: Termokamera Fluke Ti 55 [15]

Přístroj umožňuje měření teplot od -20 do 600°C s přesností teplot  $\pm 2^\circ\text{C}$  nebo 2% při 25°C. Přístroj dovoluje provádět korekce emisivity na displeji, kompenzaci odražené teploty pozadí na obrazovce a korekci přenosu na obrazovce.

Snímanou oblast je možné rozšířit/zúžit změnou objektivu. Objektivy jsou plně manuální a je nutno ostřit ručně.

Pro přenos do PC je možno použít paměťovou kartu, na kterou se zaznamenávají data ve zvoleném formátu – .is2 .bmp či .jpeg. Výhodný formát is2 obsahuje radiometrické infračervené a související optické snímky. Přenos lze provést například pomocí čtečky paměťových karet, která je standardně v balení, nebo pomocí usb kabelu.

Měřit budu motor a čerpadlo lisu. Pro ověření přesnosti výpočtů simulace v procesu tváření za studena budu měřit i teplotu lisovaných polotovarů. Polotovary jsou dvou druhů. K porovnání budou použity data ze simulačního software Qform3D.

### 3.7. Tetenal kameralack

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [13, 21]

Protože povrchy mají různou emisivitu (poměr vyzařování tepelného zářiče k vyzařování černého tělesa při téže teplotě). Pro korekci správné emisivity se používá metody zbarvení povrchu tělesa barvou o dané emisivitě. Například vyzařování běžných materiálů z povrchu objektů se pohybuje v intervalu  $0,1 \div 0,95$ . Silně vyleštěné povrchy (zrcadlo) má emisivitu 0,1 a méně, lidská pokožka se blíží k 1.

Při měření byly kontrolně označeny plochy lakem Senotherm typ 1653. Lak je vhodný do teplot 200°C, emisivita je při 100°C 0,975. Dle vlnové délky více tab. 4. Emisivita se snižuje při 200°C o 0,05.

Tab. 4 Technická data Senotherm typ 1653

<b>Vlnová délka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>2÷2,7</b>	<b>4,9÷5,5</b>	<b>6,8</b>	<b>8</b>	<b>8÷14</b>	<b>2÷20</b>
Emisivita	0,98	0,97	0,97	0,98	0,96	0,98



### 3.8. Simulační software Qform3D

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [25]

Existuje velké množství používaných software pro zjišťování napětového stavu. Jeden z poměrně rozšířených se nazývá Qform3D. Program firmy QuantorForm nazvaný Qform3D je oproti předchůdci Qform2D určen pro analýzu 3D modelů. Qform3D byl vyvinut v roce 2002 jako rozšíření již existujícího Qform2D. Software kombinoval 2D a 3D simulaci a obsahoval přehledné ovládání svého předchůdce.

Software má v sobě zabudovaný materiálový editor – jeho součástí je základní katalog materiálu a jejich vlastností na nástroje, polotovary a maziva. Obsahuje též databázi strojů – mechanické lisy, buchary, vřetenové lisy, hydraulické lisy a jejich charakteristiky. Součástí je i editor pro 2D geometrii a editor pro 3D geometrii.

Načtení 3D geometrie je možné ve formátech STL, IGS, SHL, STEP, STP, QSHAPE.

Načtení 2D geometrie je možné ve formátech DRF, CRS, DXF, IGS, SHL, STEP, STP

Mezi velkou výhodou je téměř stejný postup práce v Qform 3D a Qform 2D. Po přípravě modelu v některém modelačním softwaru nebo i za použití interního editoru geometrie nastavíme modelům vlastnosti jako polotovar (Workpiece), a nástroj (Tool1, Tool2 atd.) Tím je přímo nadefinováno jaké je určení geometrie, a program podle nadefinování počítá na nastavené geometrii specifické vlastnosti (např.: u polotovaru je možné nechat spočítat podpovrchové čáry, podle kterých můžeme předpovědět existenci přeložek). Při přejímání geometrie se provede kontrola modelu a na případné geometrické chyby je uživatel upozorněn.

Celý proces definování parametrů tváření je připraven ve formě jednoduchého průvodce. Mezi nespornou výhodou tohoto průvodce patří, že nás provede jednotlivými nutnými kroky tak, abychom zajistili nadefinování všech vlastností, které jsou pro výpočet stěžejní.

Softwaru Qform2D a Qform3D dokážou simulovat i vícenásobné operace. Po první operaci převezmou polotovar a použijí ho na další operaci, kterou znovu vytvoříme pomocí průvodce. Takto můžeme nasimulovat reálné vlastnosti konečného výrobku.

## 4. Měření

V této kapitole a jejích podkapitolách jsou uvedeny údaje, které jsem naměřil.

### 4.1. Výsledky měření otáček a parametrů řemenů

#### 4.1.1. Výsledky měření otáček motoru

Na motoru bylo naměřeno 1475 ot/m – 24,583 Hz

#### 4.1.2. Výsledky měření otáček čerpadla

Na čerpadle bylo naměřeno 968 ot/m – 16,133 Hz

#### 4.1.3. Parametry řemene

Pro výpočty řemenových frekvencí je použito rovnice 3-1.

Řemenová frekvence hnací řemenice

$$f_r = \frac{\pi \cdot f_o \cdot d_r}{l} = \frac{\pi \cdot 24,5898}{652} = \frac{7\,657,59}{652} = 11,6 \text{ Hz}$$

Kde:

- $f_o$  - frekvence otáčení motoru – 24,58 Hz
- $d_r$  - průměr hnací řemenice – 98 mm
- $l$  - délka řemene – 652 mm



Řemenová frekvence hnané řemenice

$$f_{\tilde{r}} = \frac{\pi \cdot f_o \cdot d_r}{l} = \frac{\pi \cdot 16,13 \cdot 149}{652} = \frac{7550}{652} = 11,58 \text{ Hz}$$

Kde:

- $f_o$  - frekvence otáčení čerpadla – 16,13Hz
- $d_r$  - průměr hnané řemenice – 149 mm
- $l$  - délka řemene – 652 mm

## 4.2. Výsledky měření vibrací

Značení měřících míst odpovídá značení v předchozí kapitole.

Tab. 5: Naměřené údaje na motoru

	Měřící místo	Typ	Naměřená hodnota	Jednotka
Motor	L1-V	RMS	0,619	mm·s <sup>-1</sup>
			0,131	g
	L1-A	RMS	0,158	mm·s <sup>-1</sup>
			0,064	g
	L1-H	RMS	0,783	mm·s <sup>-1</sup>
			0,126	g
	L2-V	RMS	0,677	mm·s <sup>-1</sup>
			0,181	g
	L2-A	RMS	0,158	mm·s <sup>-1</sup>
			0,064	g
	L2-H	RMS	0,954	mm·s <sup>-1</sup>
			0,110	g

Tab. 6: Naměřené údaje na motoru

	Měřicí místo	Typ	Naměřená hodnota	Jednotka
Čerpadlo	L3-V	RMS	0,367	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,114	g
	L3-A	RMS	0,626	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,124	g
	L3-H	RMS	0,799	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,077	g
	L4-V	RMS	0,546	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,245	g
	L4-A	RMS	0,637	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,135	g
	L4-H	RMS	0,823	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,068	g

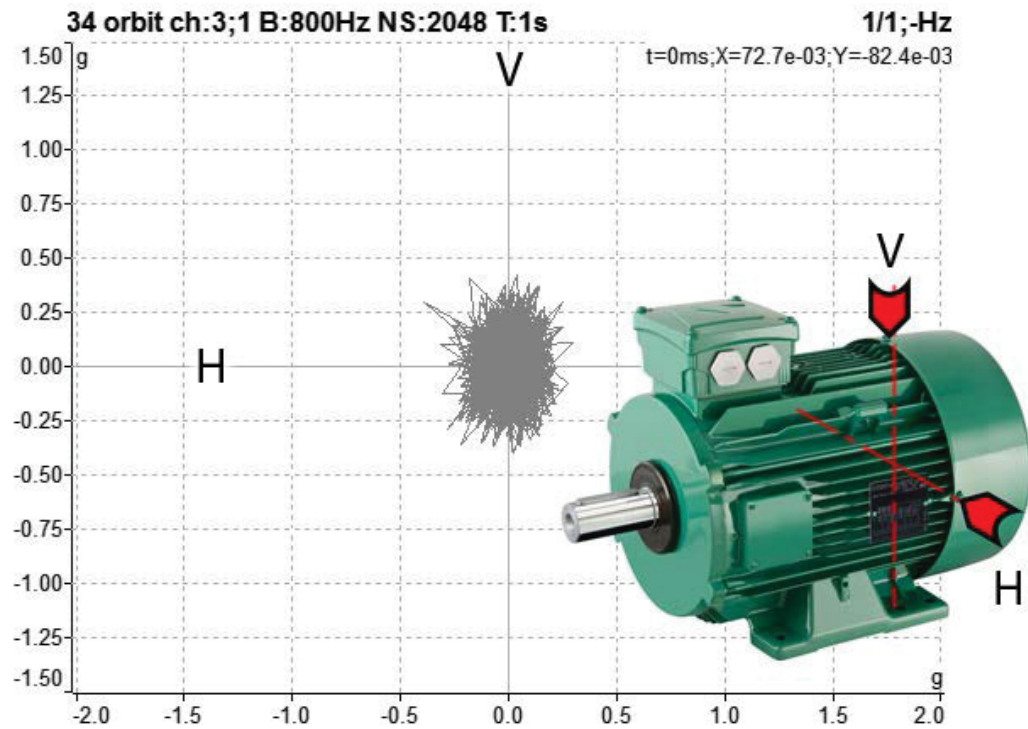
Měření vibrací bylo kromě motoru a čerpadla provedeno i na nástroji, který byl používán. Měření proběhlo na dvou druzích nástrojů. Nástroj byl z materiálu 19 433, byl povrchově zpracován. Na každém nástroji se lisoval jeden typ materiálu a to opakovaně. Měření bylo provedeno pro materiál 11 523 po 190 vzorcích a pro nástroj lisující materiál 14 220 po 230 odlisovaných vzorcích.

Tab. 7: Naměřené údaje na spodní desce

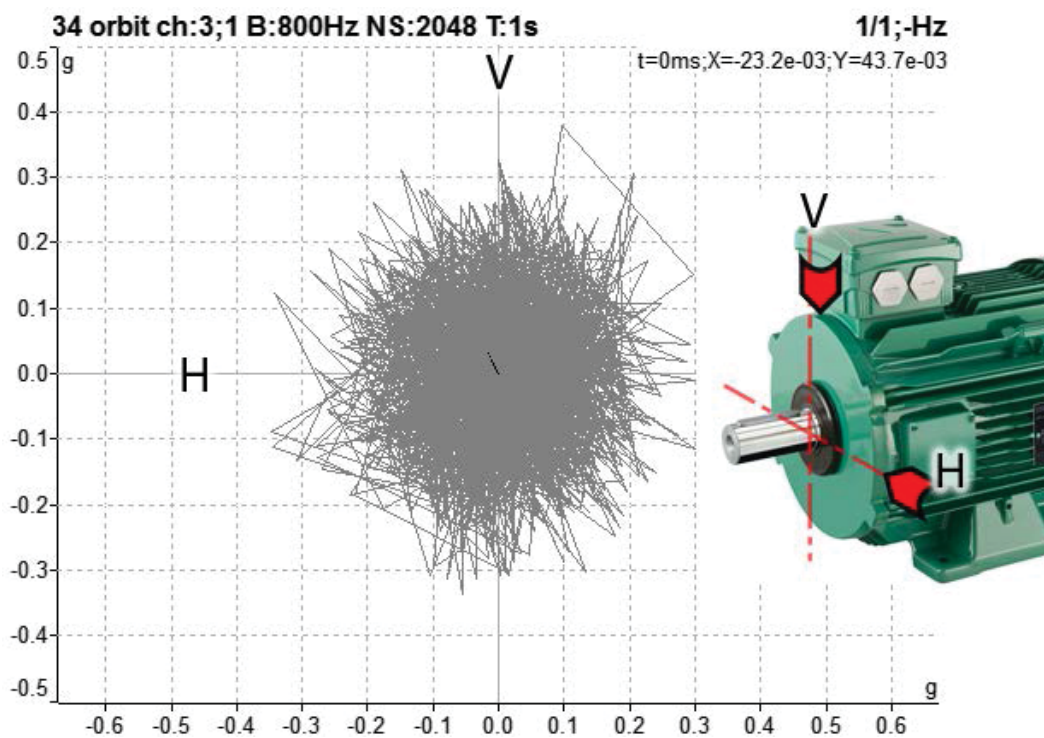
	Měřicí místo	Typ	Naměřená hodnota	Jednotka
Deska	D1-A	11 523	0,605	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,159	g
		14 220	0,513	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,264	g
	D1-H	11 523	0,142	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,066	g
		14 220	0,635	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,145	g
	D1-V	11 523	1,100	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,118	g
		14 220	0,888	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,068	g

### 4.2.1. Orbity vibrací

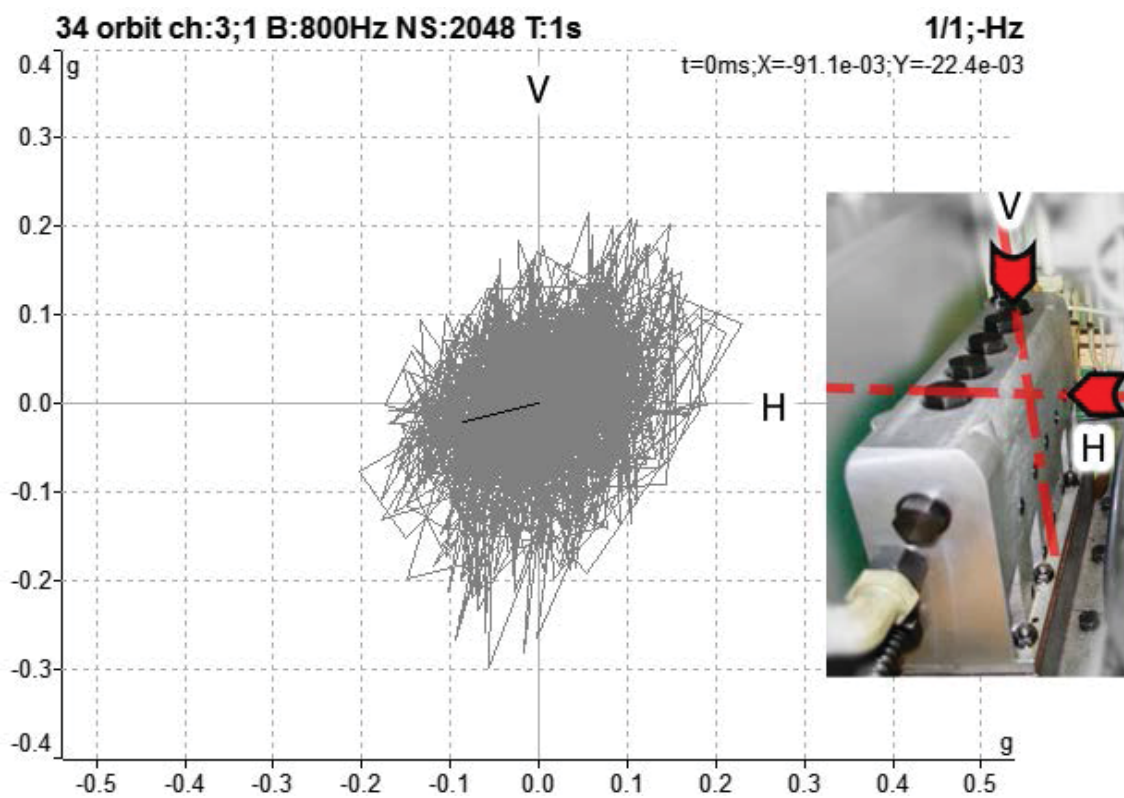
Orbity - grafické zobrazení pohybu měřené součásti v jednotlivých osách. Orbity umožní udělat si představu o způsobu a velikosti působení vibrací na součást.



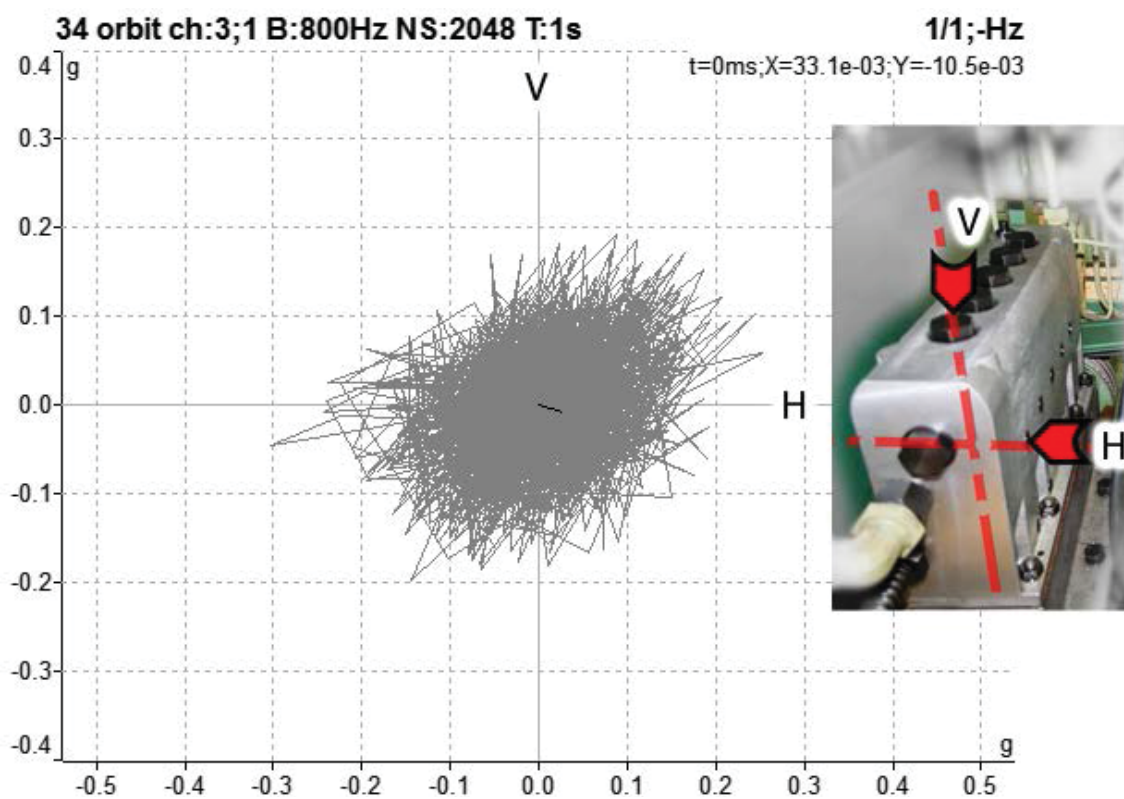
Obr. 30: Naměřené orbity motoru v měřícím bodě 1



Obr. 31: Naměřené orbity motoru v měřícím bodě 2

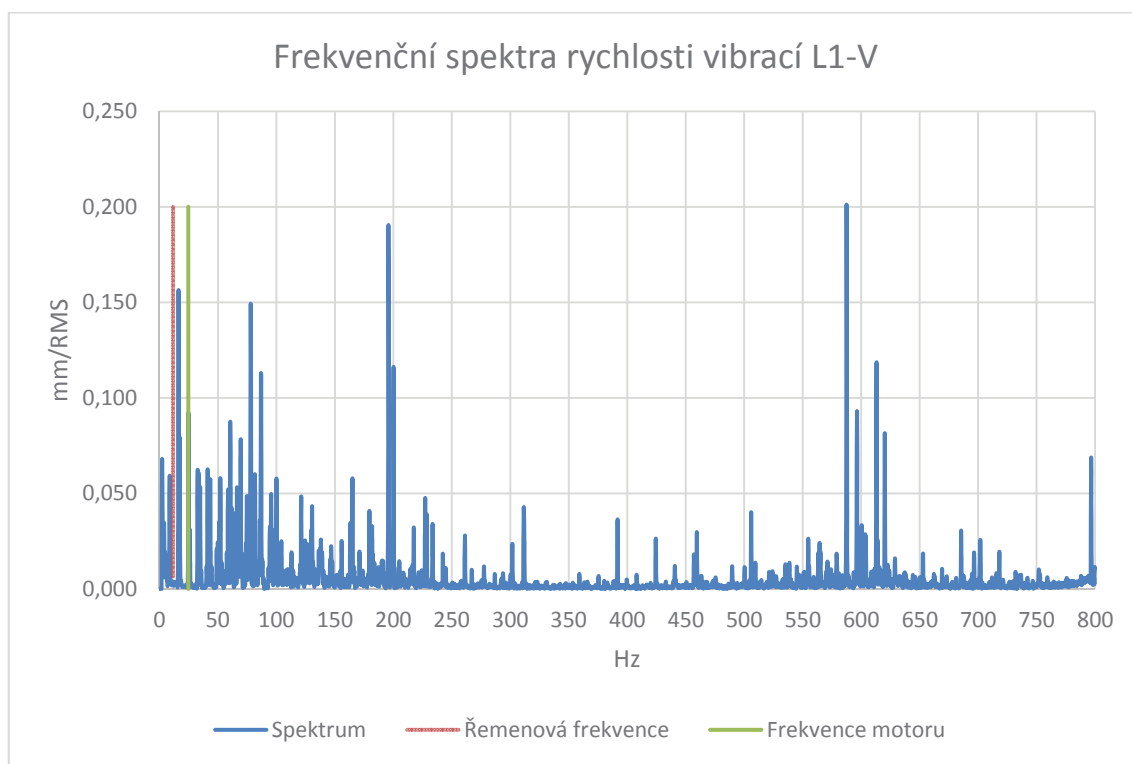


Obr. 32: Naměřené orbity čerpadla v měřícím bodě 3

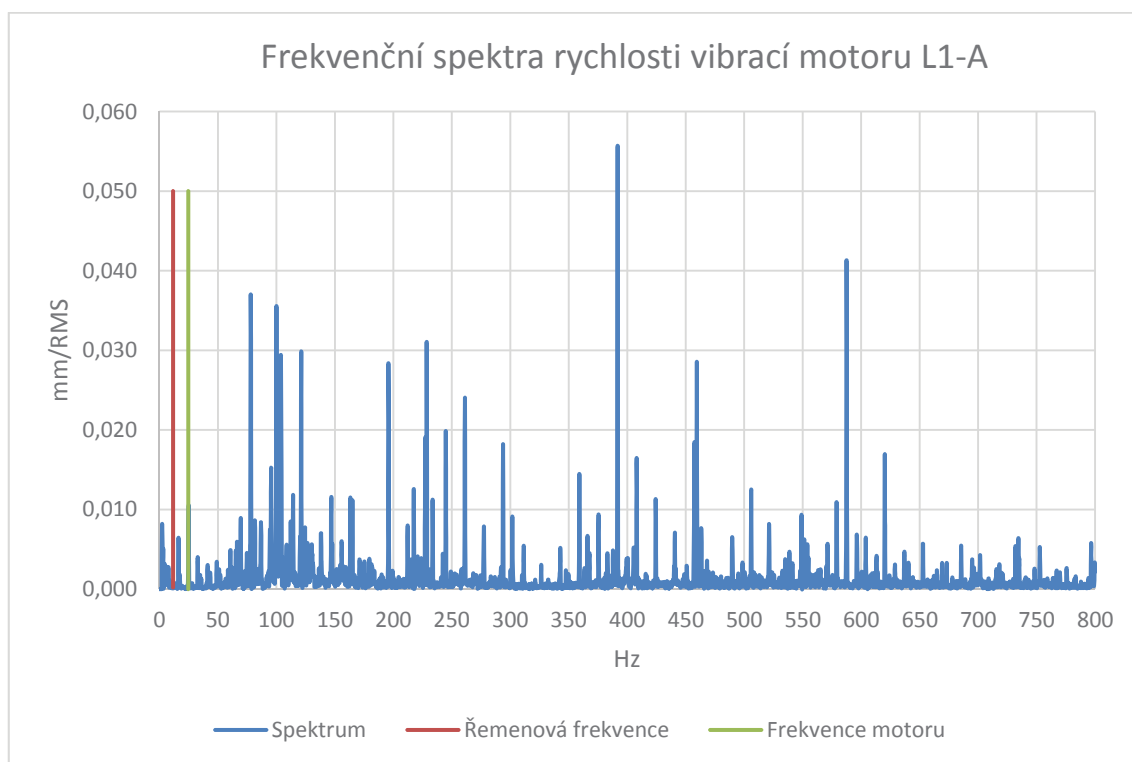


Obr. 33: Naměřené orbity čerpadla v měřícím bodě 4

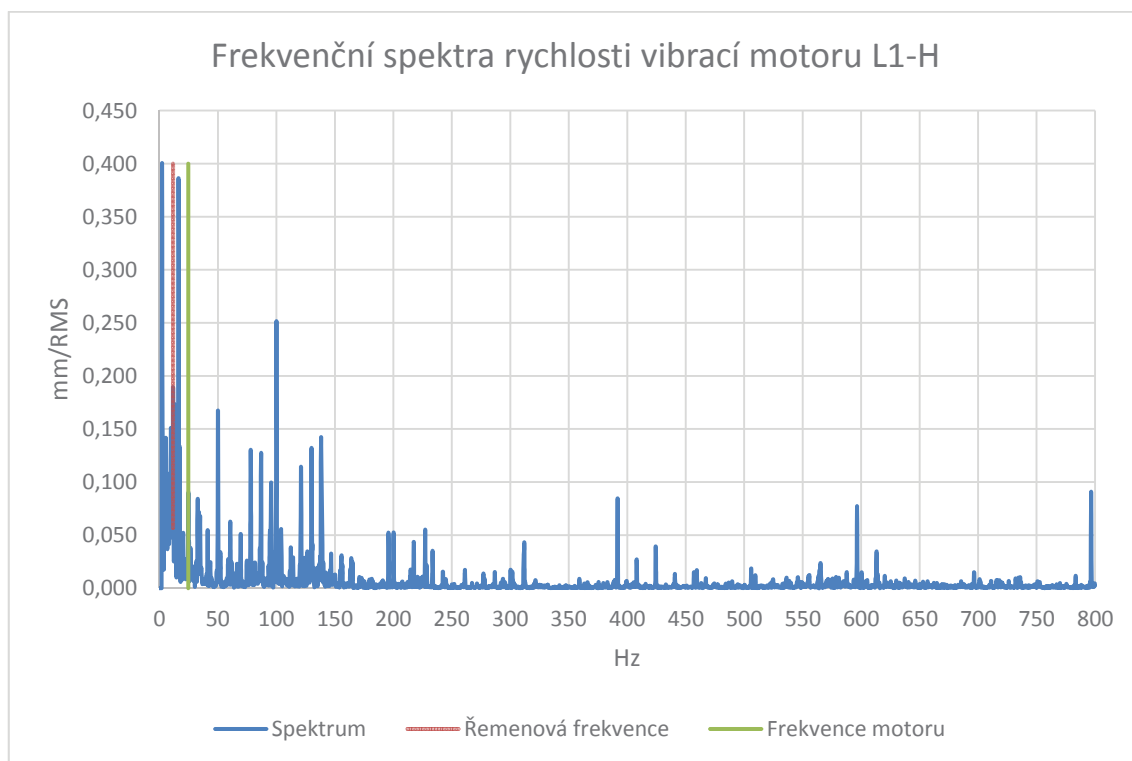
#### 4.2.2. Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru



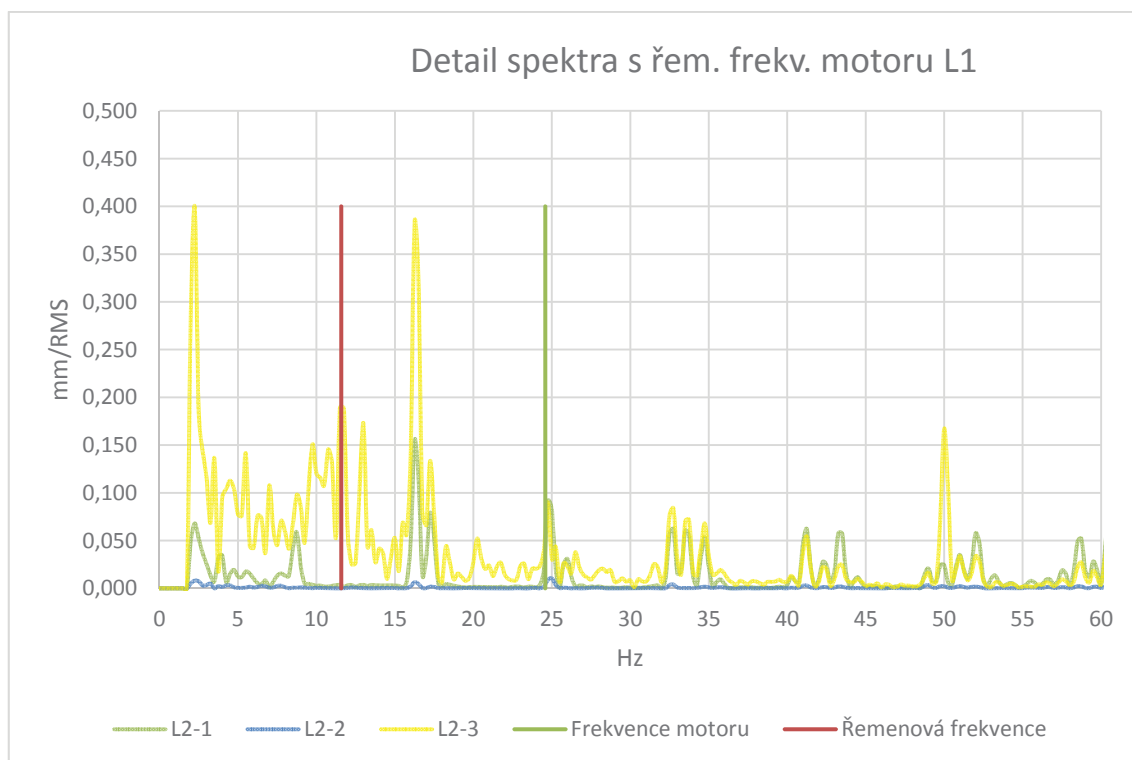
Obr. 34: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřicím bodě L1-V



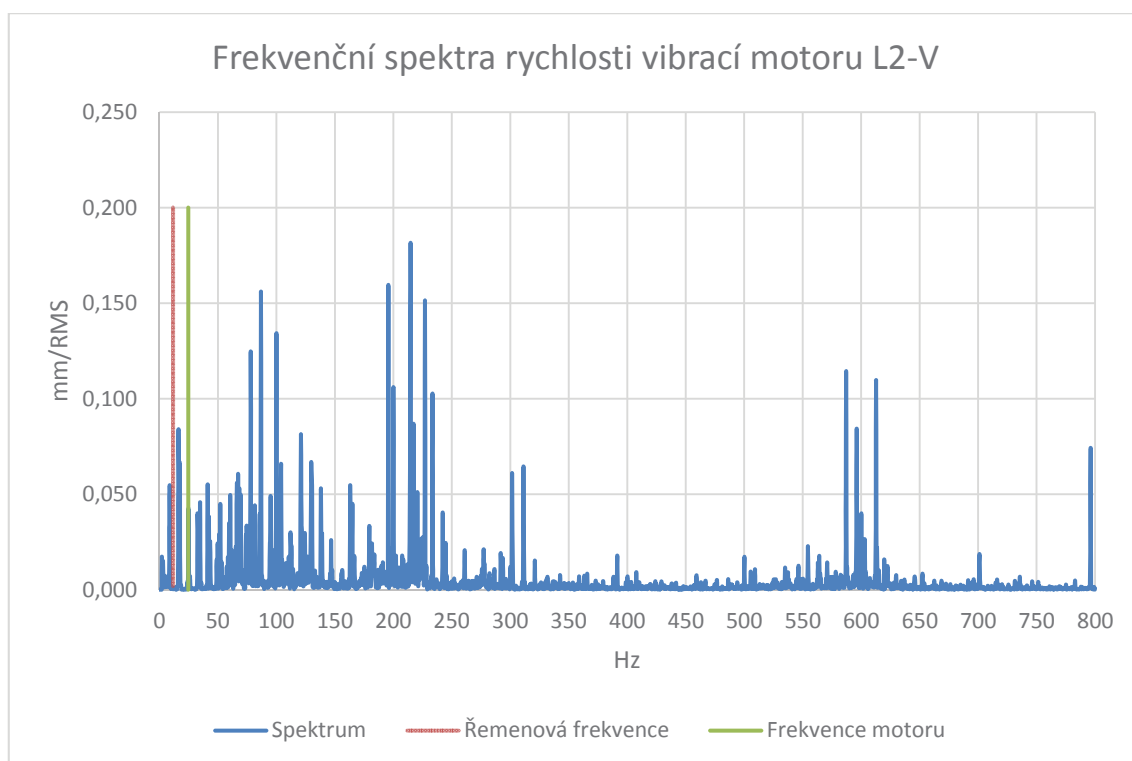
Obr. 35: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřicím bodě L1-A



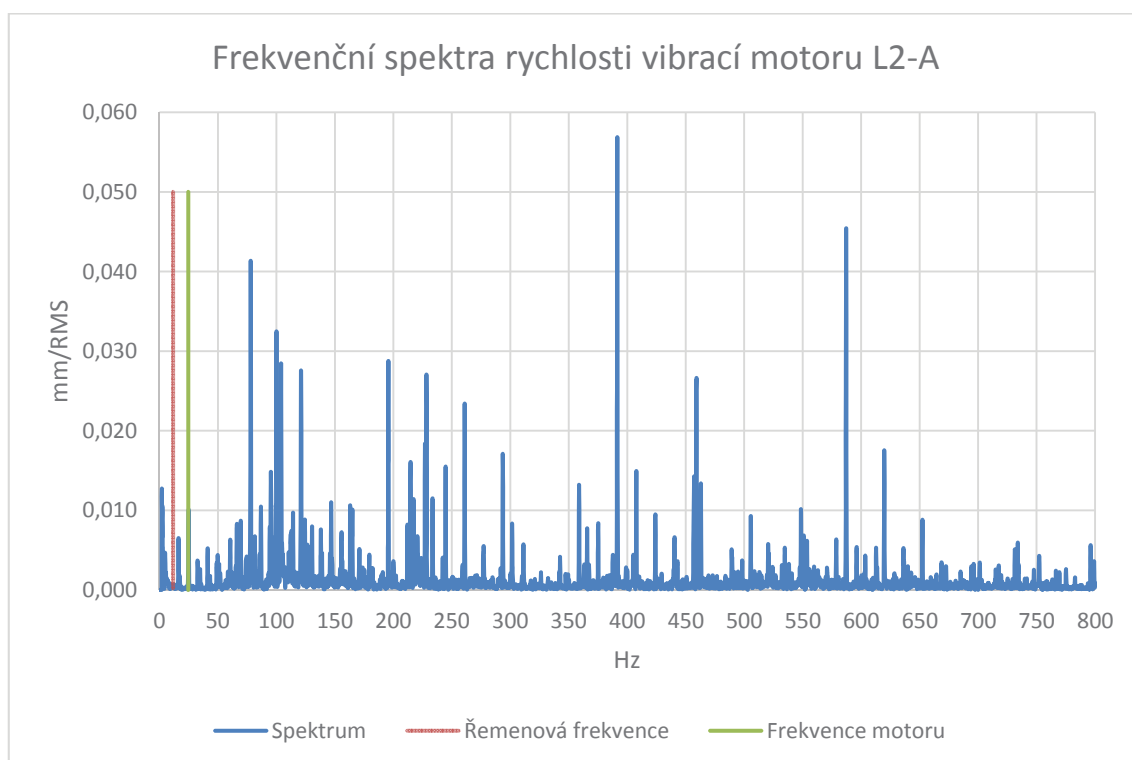
Obr. 36: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřícím bodě L1-H



Obr. 37: Detail frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřícím bodě L1

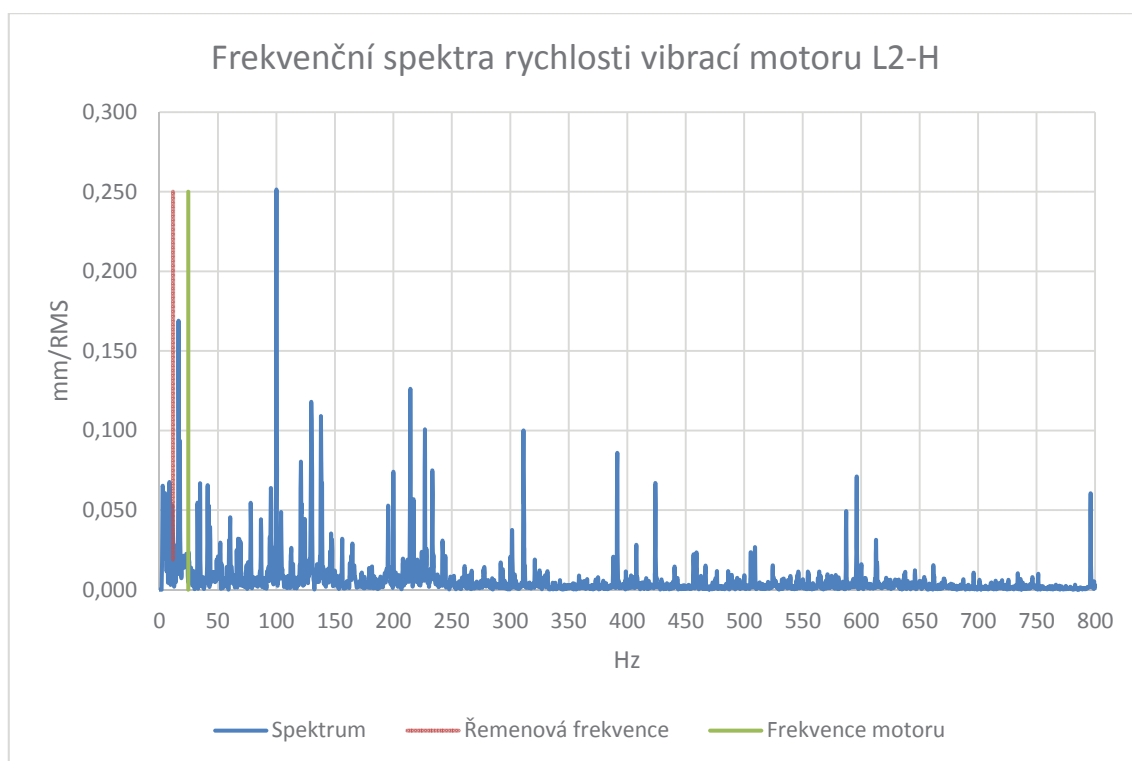


Obr. 38: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřicím bodě L2-V

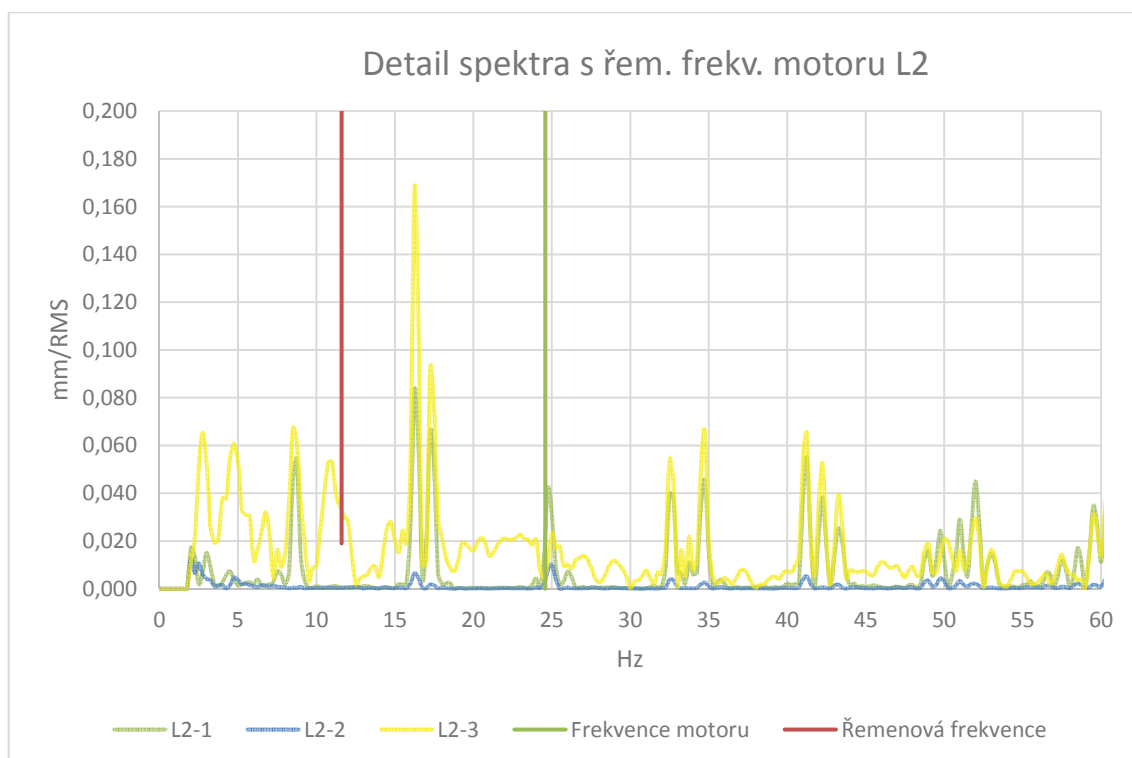


Obr. 39: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřicím bodě L2-A



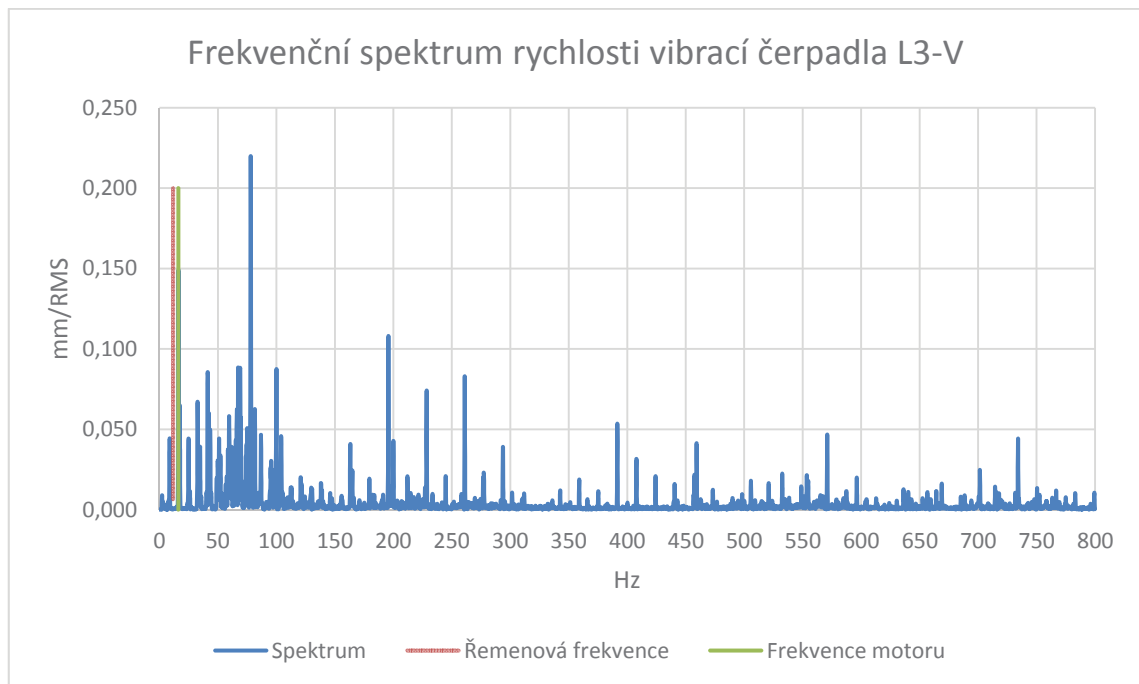


Obr. 40: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřicím bodě L2-H

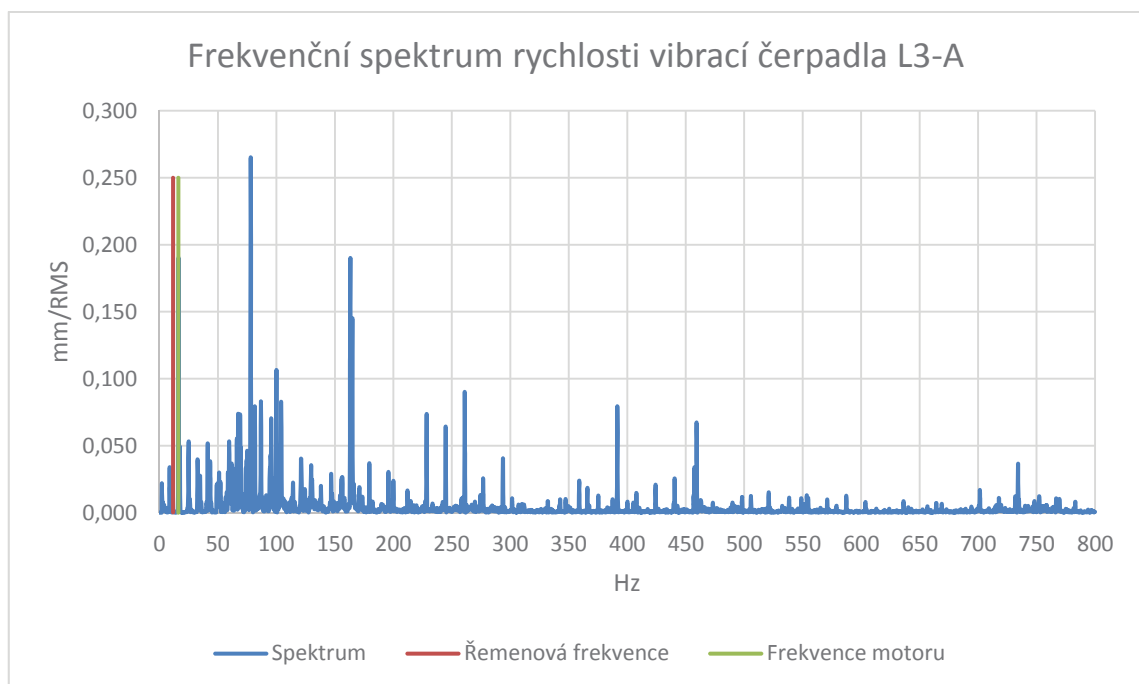


Obr. 41: Detail frekvenční spektra rychlosti vibrací na motoru v měřicím bodě L2

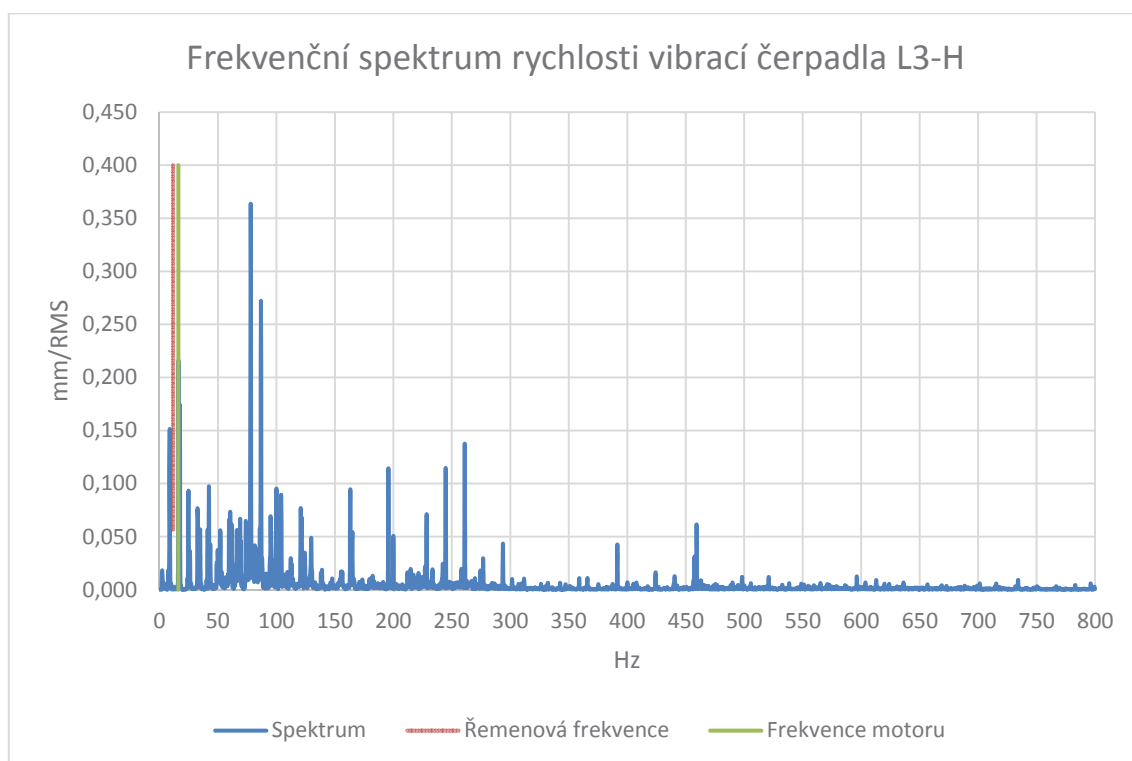
### 4.2.3. Spektra vibrací na čerpadle



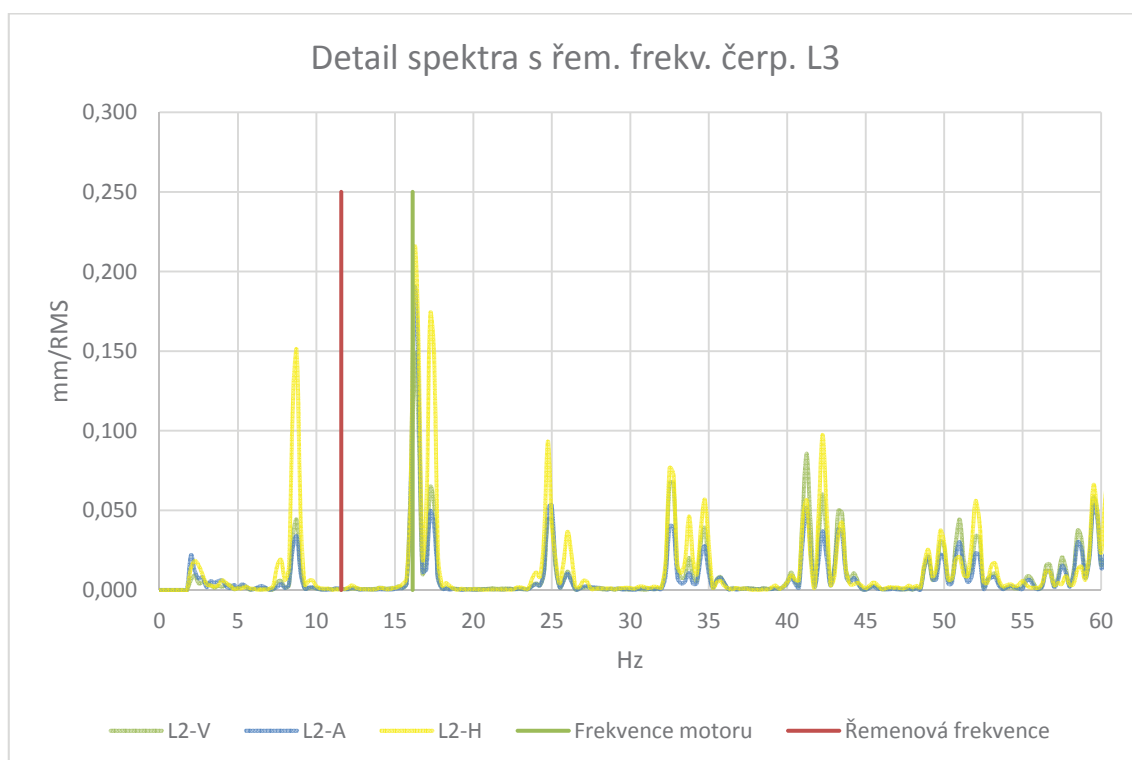
Obr. 42: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L3-V



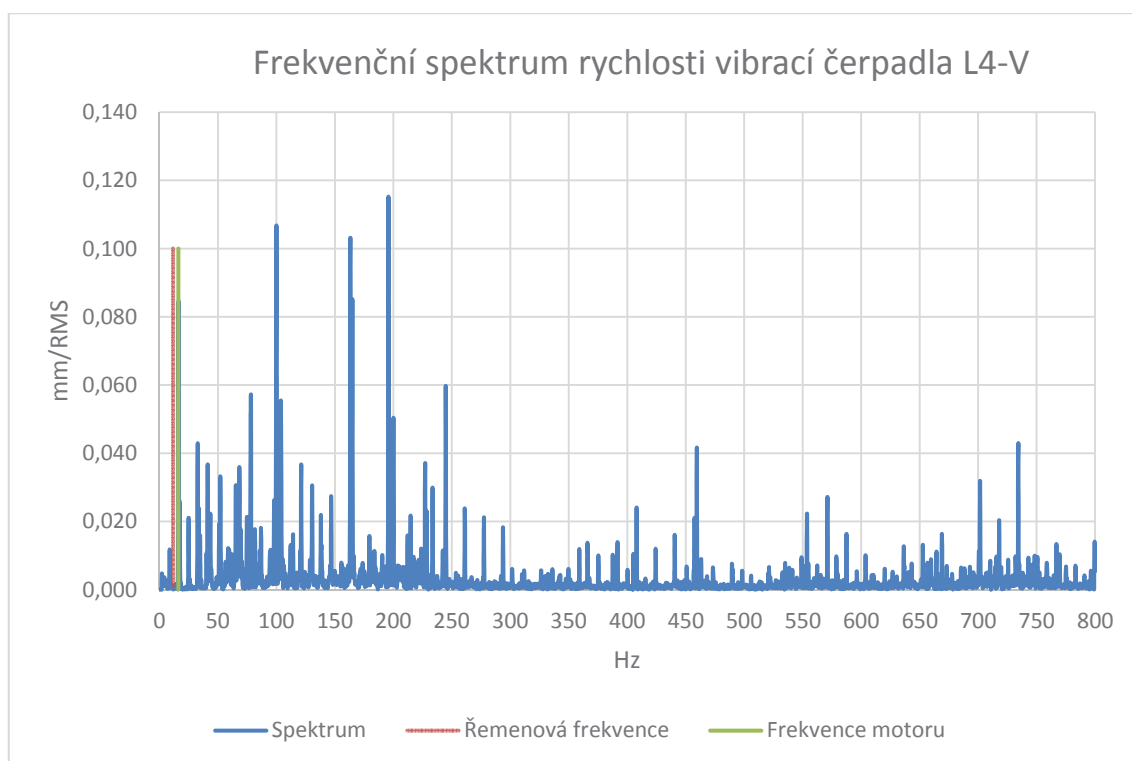
Obr. 43: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L3-A



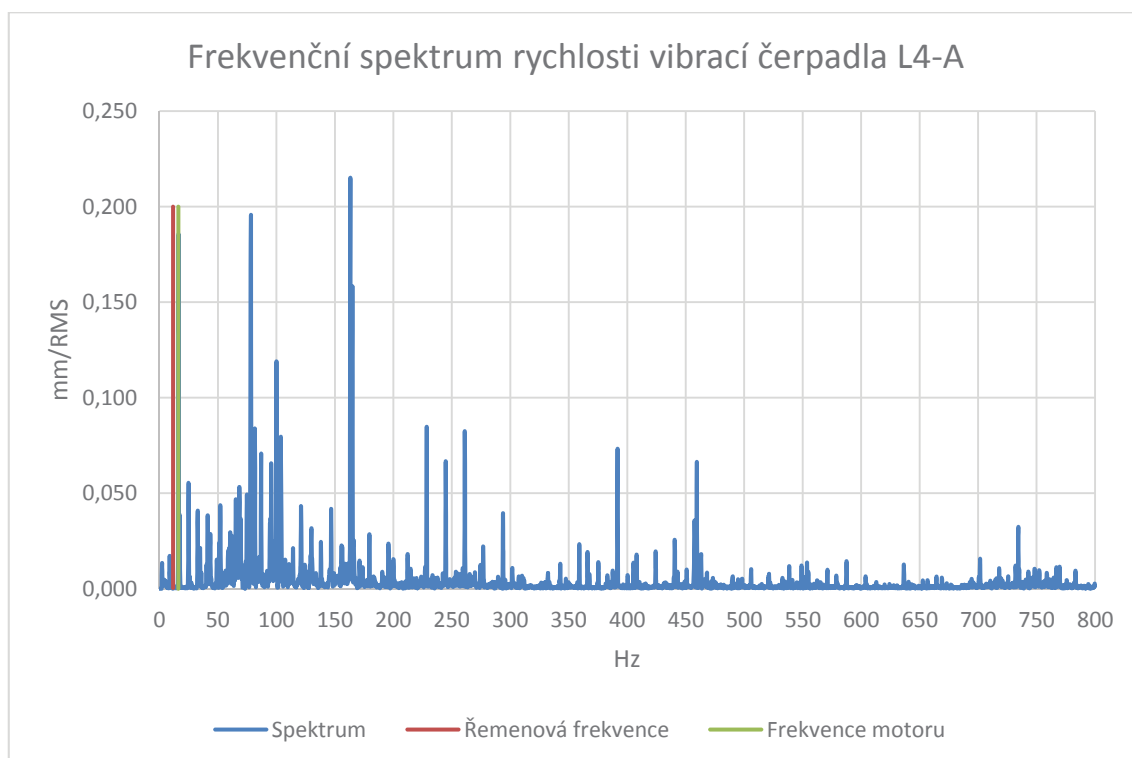
Obr. 44: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L3-H



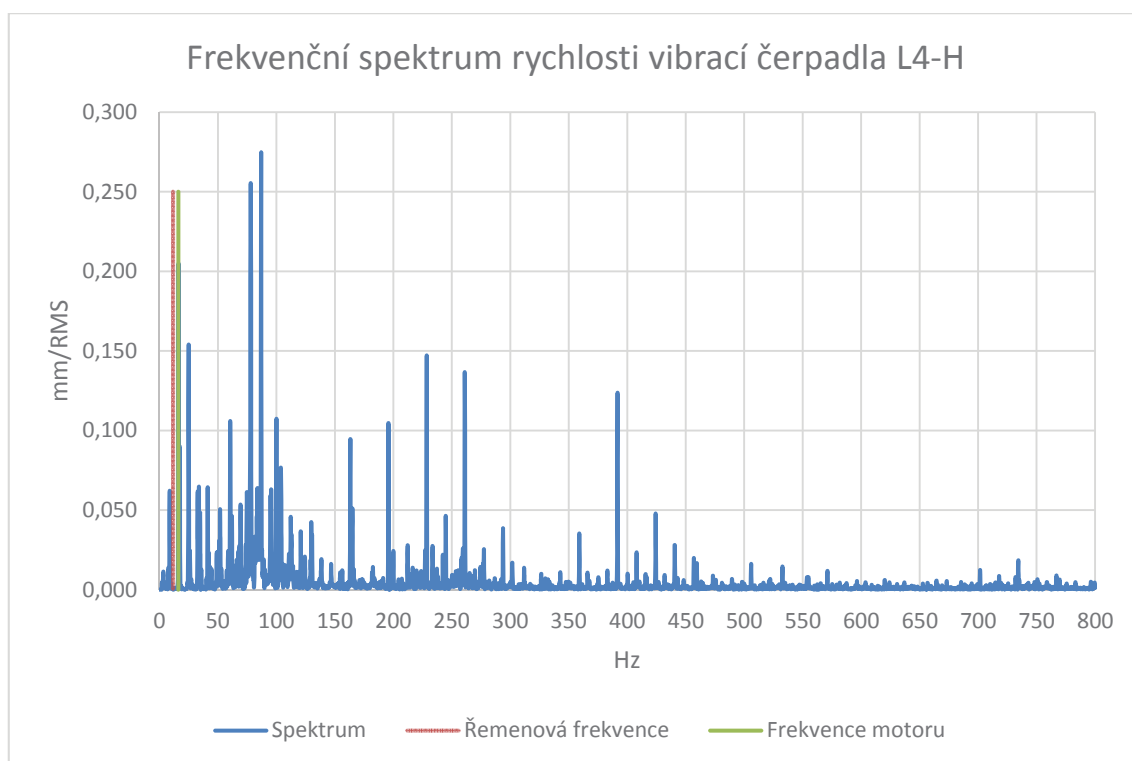
Obr. 45: Detail frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L3



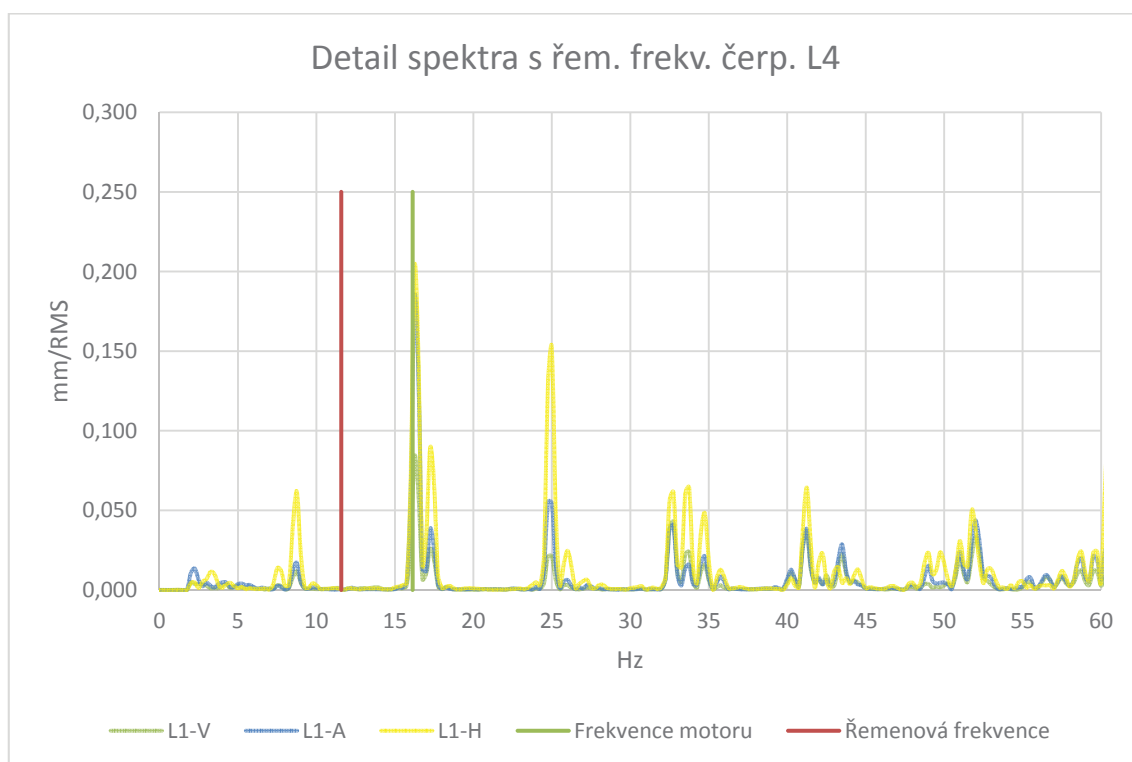
Obr. 46: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L4-V



Obr. 47: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L4-A



Obr. 48: Frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L4-H

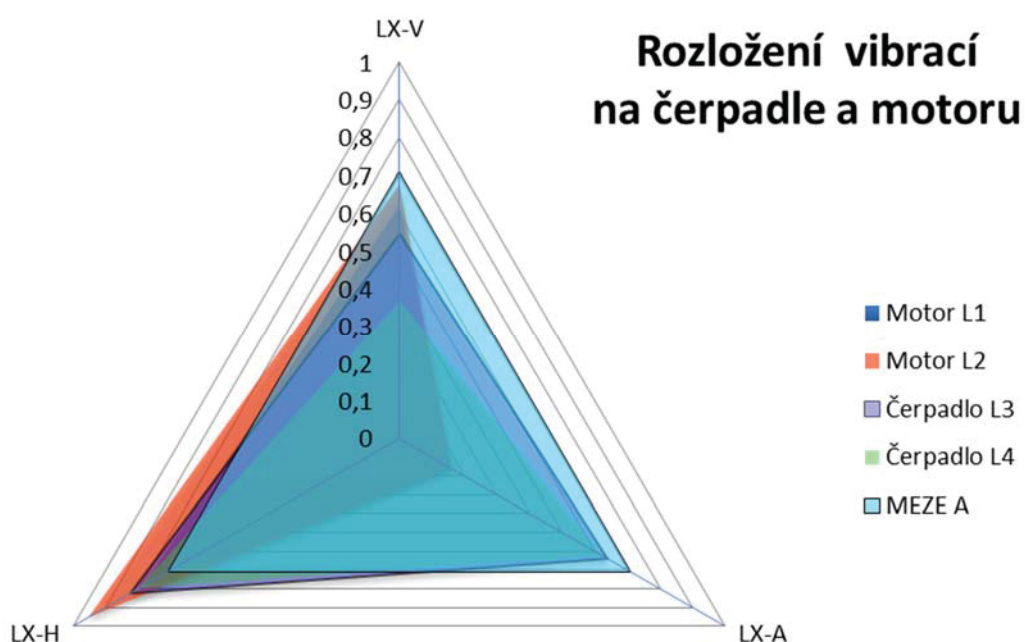


Obr. 49: Detail frekvenční spektra rychlosti vibrací na čerpadle v měřícím bodě L4

#### 4.2.4. Rozložení vibrací na čerpadle a motoru

Z obr. 50 je patrné, že vibrace ve vertikální a axiální rovině jsou v mezích A – tedy nových strojů. V ose H – přechází vibrace na motoru v bodě L1, L2 a čerpadla L3, L4 přechází do meze B – stroje mohou být provozovány po neomezeně dlouhou dobu.

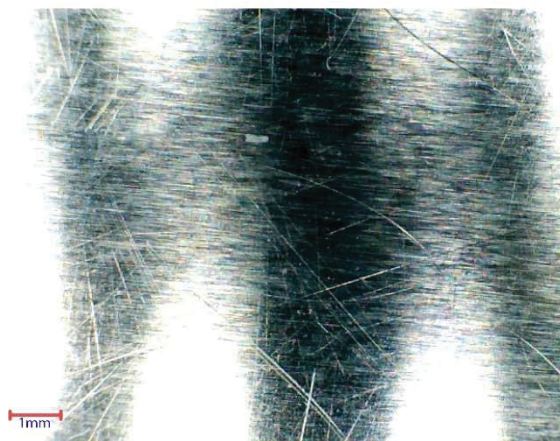
Meze A vyznačené na obr. 50 udávají hranici vyznačující jednotlivé pásma dle normy. Zde vibrace leží v od 0 do konce pásma A (0,71), dále vibrace pokračují v pásmu B.



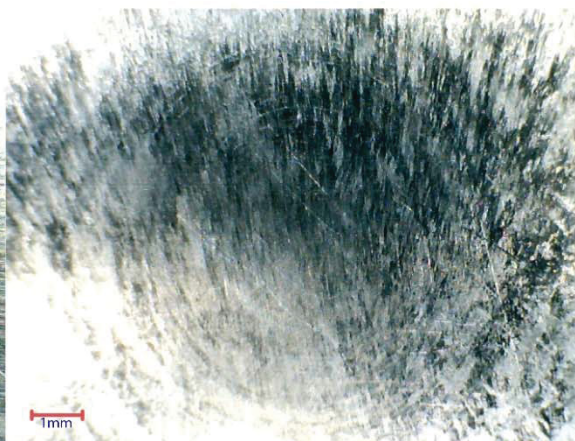
Obr. 50: Rozložení vibrací na čerpadle a motoru

### 4.3. Výsledky měření metodou MMM – Metal magnetic memory

Neopotřebovaný povrch

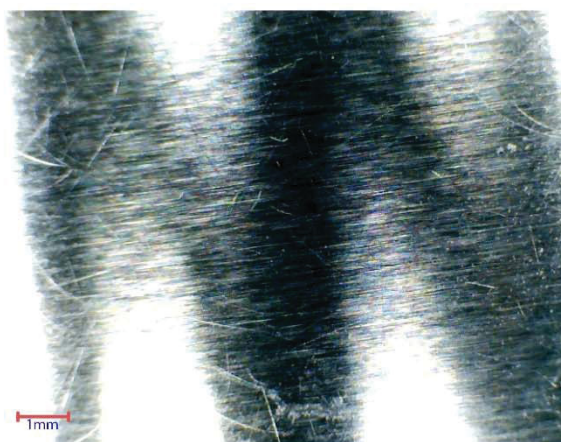


Střed opotřebované plochy

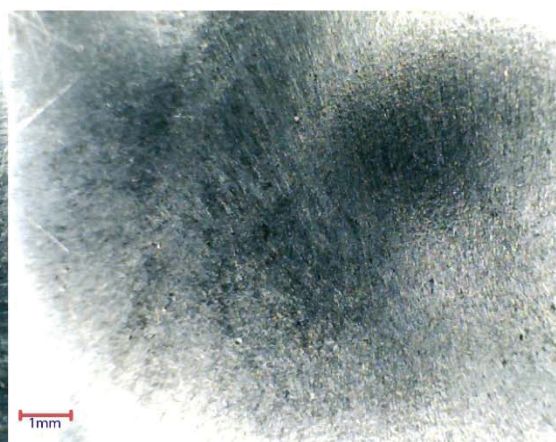


Obr. 51: Nástroj z první sady 19 436 – 1, snímky povrchu neopotřebované a opotřebované plochy po 190ks.

Neopotřebovaný povrch



Střed opotřebované plochy

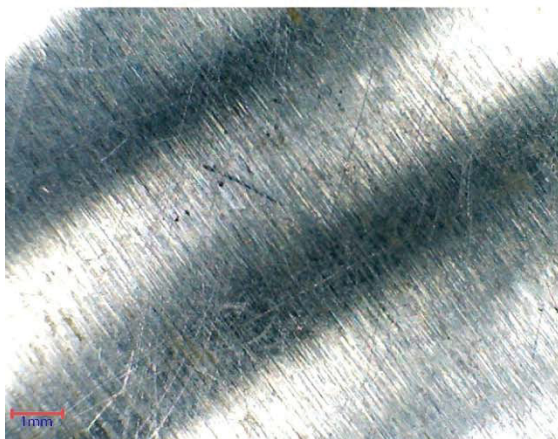


Obr. 52: Nástroj druhé sady 19 436 – 2, snímky neopotřebované plochy a plochy po opotřebování lisováním 230 ks polotovarů

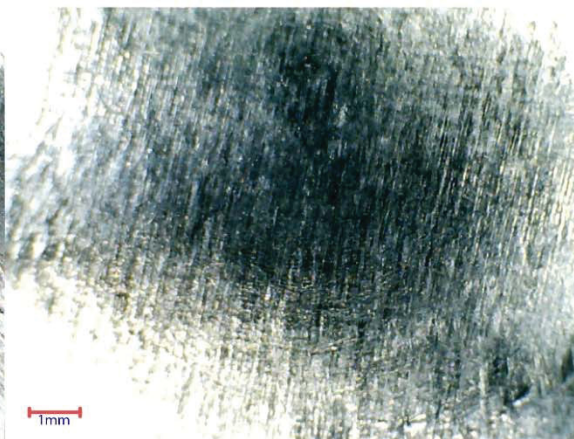
Srovnáním snímků povrchu obr. 51 a obr. 52 je vidět vizuální rozdíl opotřebování ploch. Mohu předpokládat vyšší naměřené údaje gradientu magnetického pole u nástroje první sady lisující materiál s vyšší pevností. Ze snímků jsou patrné vlasové škrábance na povrchu obou nástrojů, které mohou zapříčinit naměření vyšších gradientů magnetického pole.



Neopotřebovaný povrch



Střed opotřebované plochy

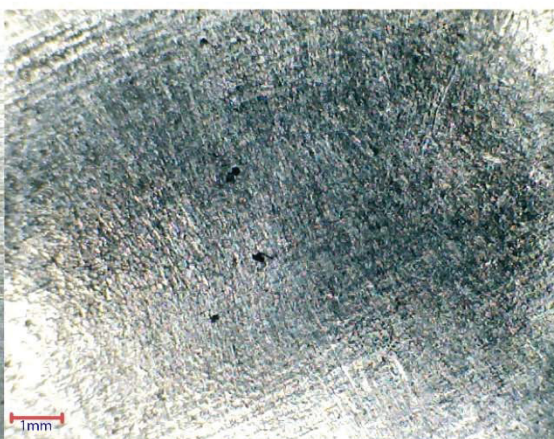


Obr. 53: Nástroj z první sady 19 733 – 1, snímky povrchu neopotřebované a opotřebované plochy po 190ks.

Neopotřebovaný povrch

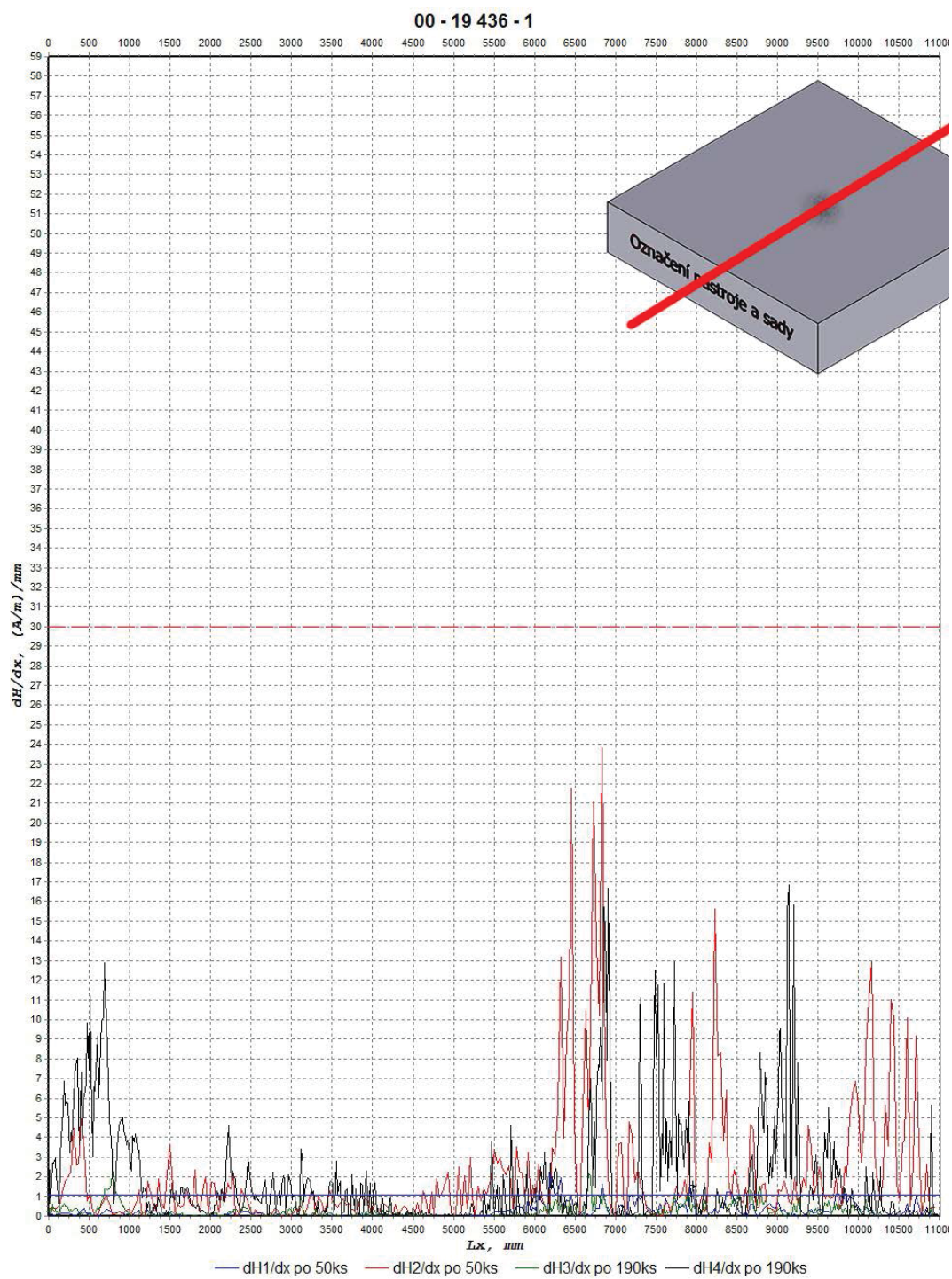


Střed opotřebované plochy



Obr. 54: Nástroj druhé sady 19 733 – 2, snímky neopotřebované plochy a plochy po opotřebování lisováním 230 ks polotovarů

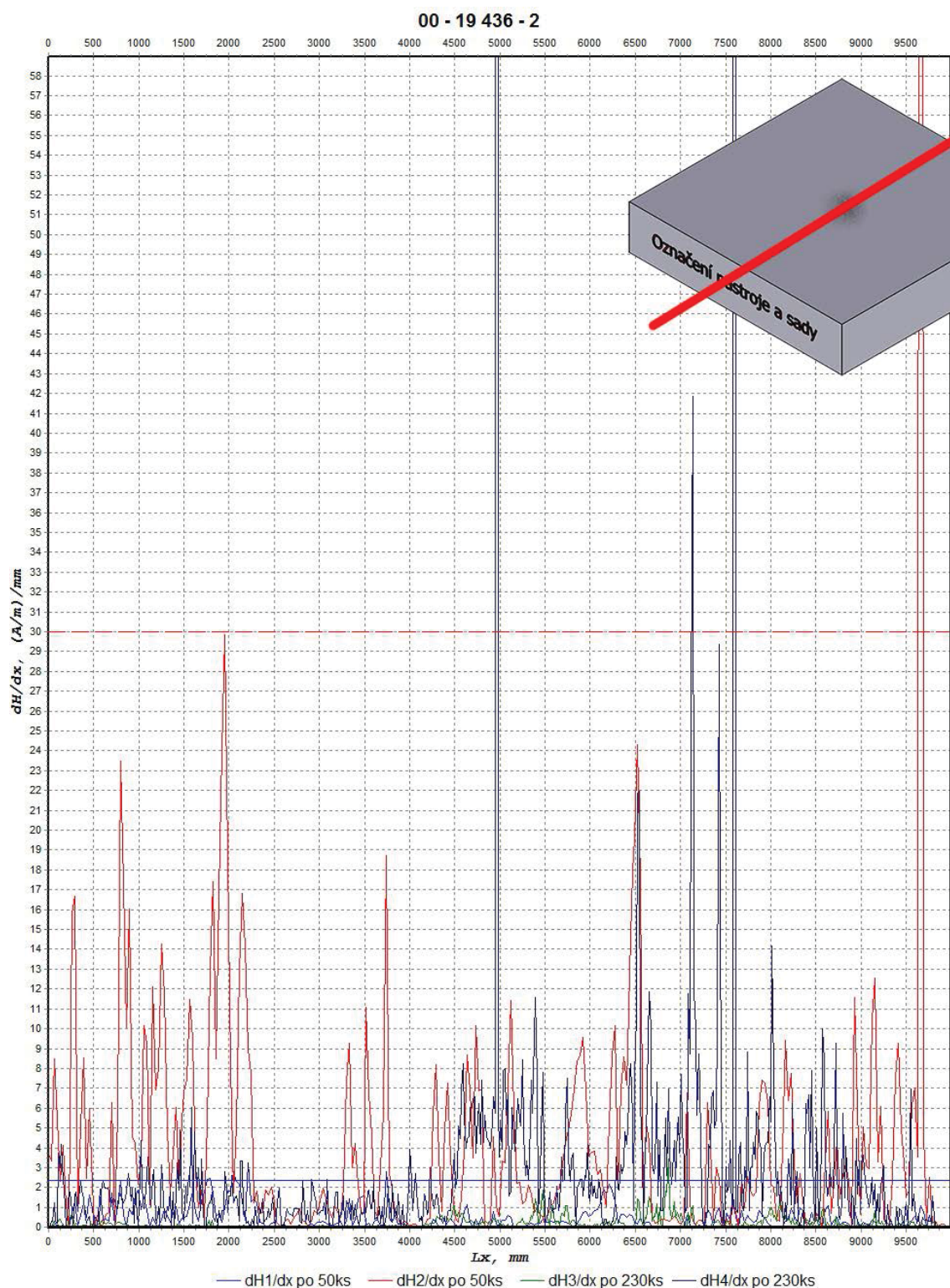
Porovnáním obr. 53 a obr. 54 obr. 52 je viditelný rozdíl opotřebování pracovních ploch. Mohu předpokládat vyšší naměřené údaje gradientu magnetického pole u nástroje první sady lisující materiál s vyšší pevností. Ze snímků jsou patrné vlasové škrábance na povrchu obou nástrojů, které mohou zapříčinit naměření vyšších gradientů magnetického pole.



Obr. 55: Nástroj 19 436 první sady v ose Y – porovnání měření po 50ks a 190ks

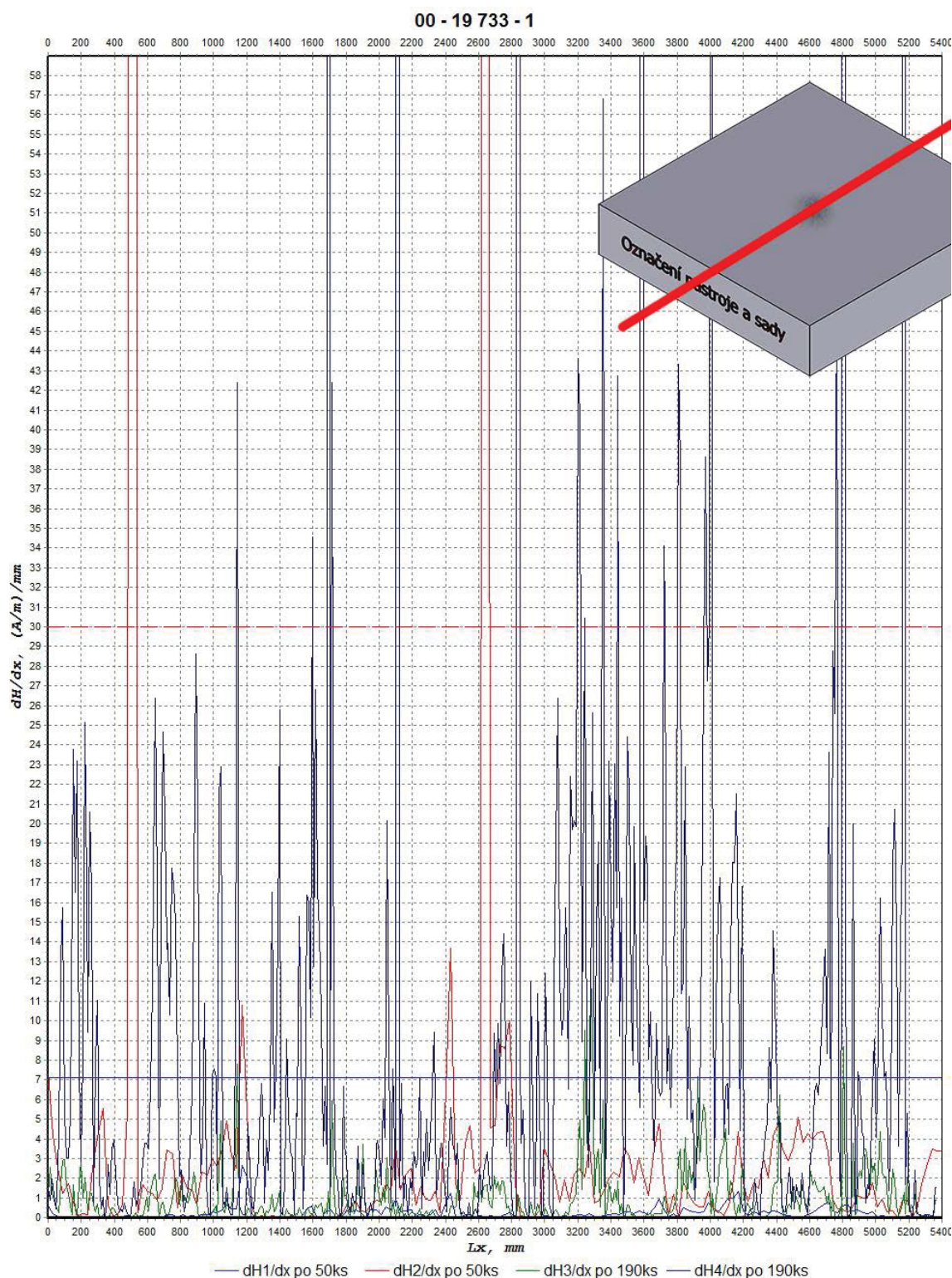
Na obr. 55 je patrné, že naměřená úroveň gradientu magnetického pole nepřesáhla výrobcem stanovenou mez.





Obr. 56: Nástroj 19 436 druhé sady v ose Y – porovnání měření po 50ks a 230ks

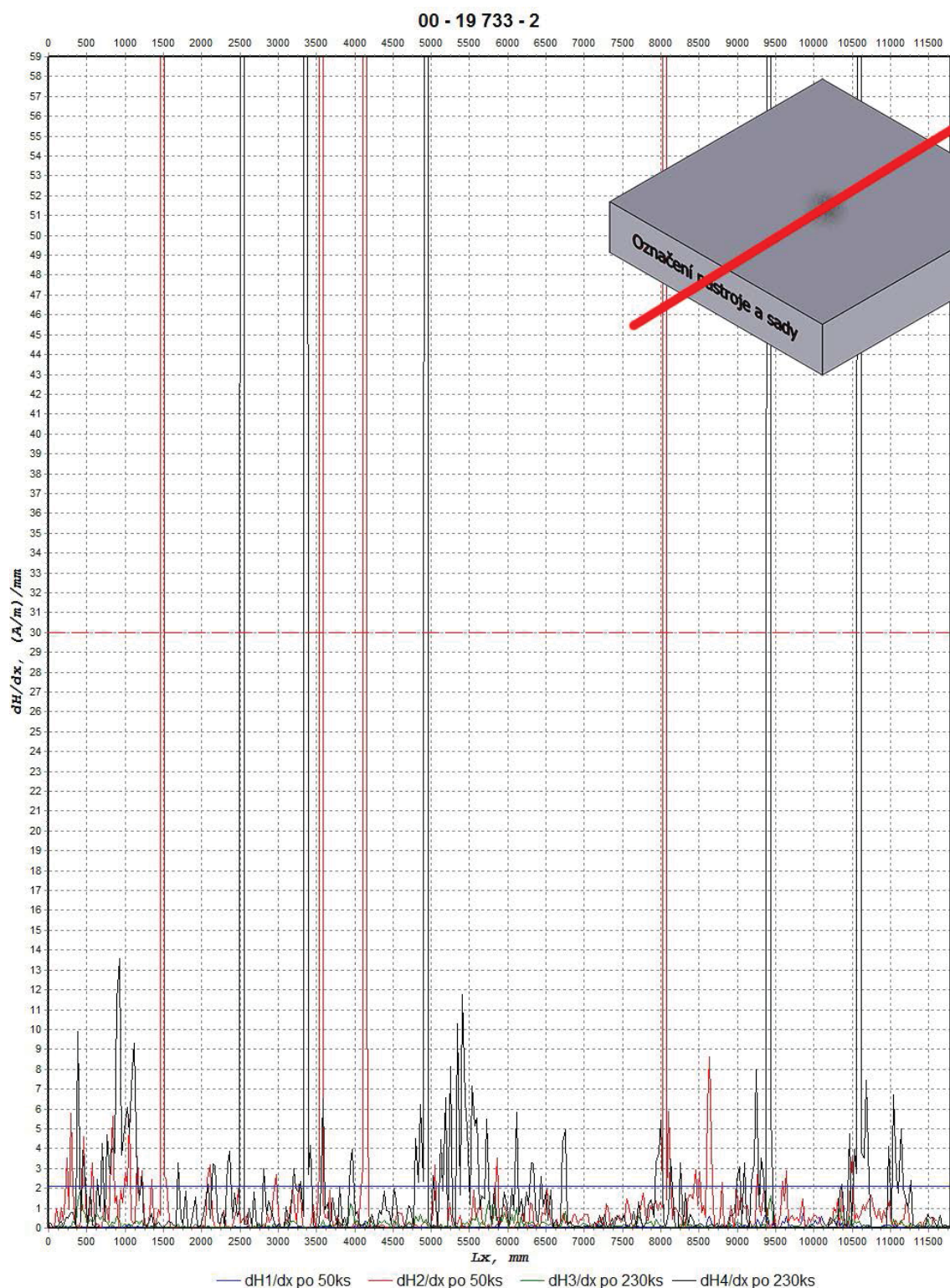
Dle magnetografu (obr. 56) je patrný pravděpodobný výskyt trhlin již po odlisování 50ks polotovarů. Z průběhu soudím zvýšený rozvoj napětí (indikující trhliny) po odlisování 230ks a tendenci zhoršování stavu lisovacího nástroje.



Obr. 57: Nástroj 19 733 první sady v ose Y – porovnání měření po 50ks a 190ks

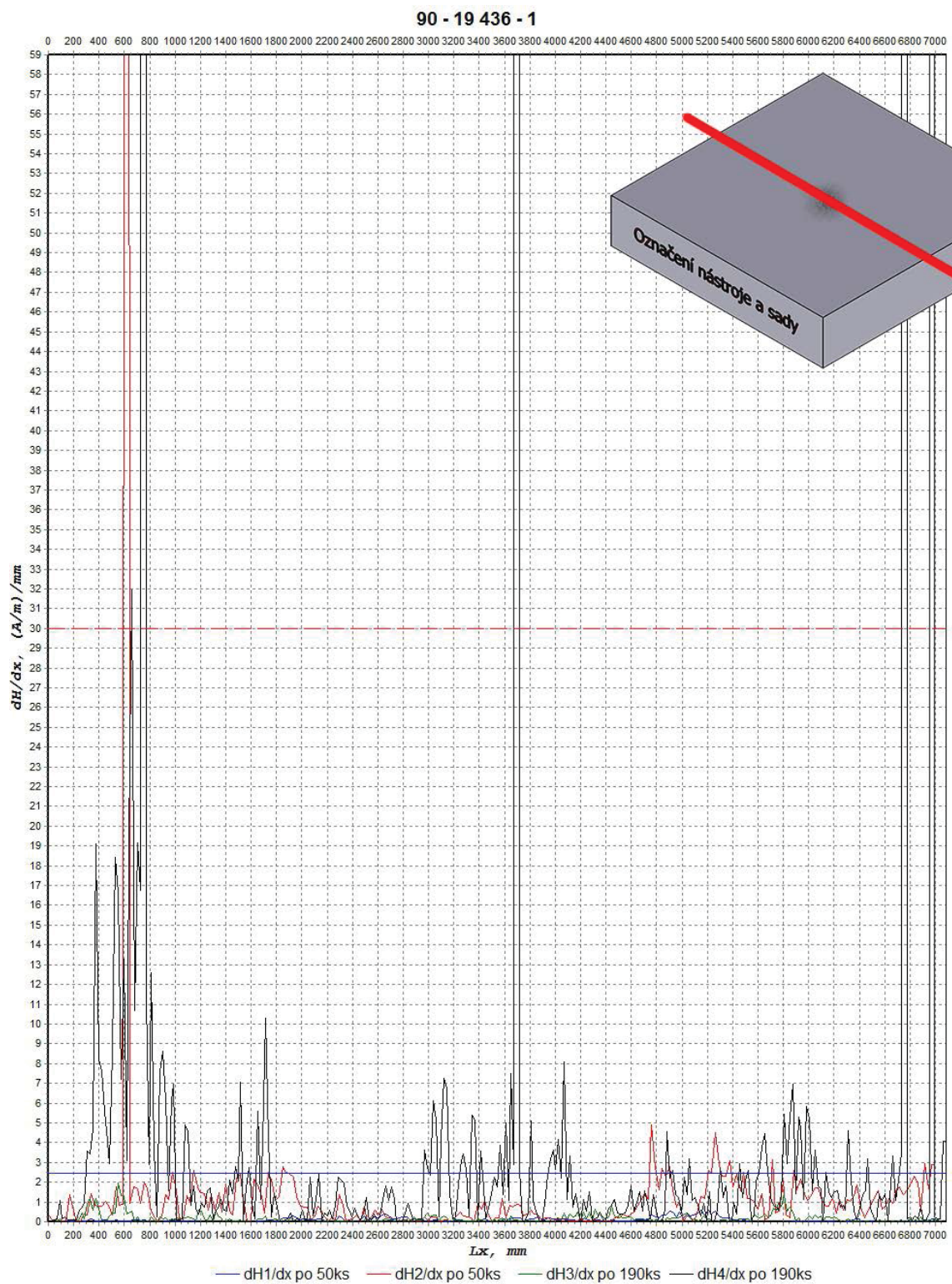
Dle magnetografu (obr. 57) je patrný pravděpodobný výskyt trhlin již po odlisování 50ks polotovaru. Po odlisování 230ks polotovaru došlo k významnému nárůstu gradientu napětí. Dochází k většímu poškození oproti nástroji 19 436 – 1 (obr. 55) první sady nástrojů, na kterém se lisuje polotovar ze stejného materiálu.





Obr. 58: Nástroj 19 733 druhé sady v ose Y – porovnání měření po 50ks a 230ks

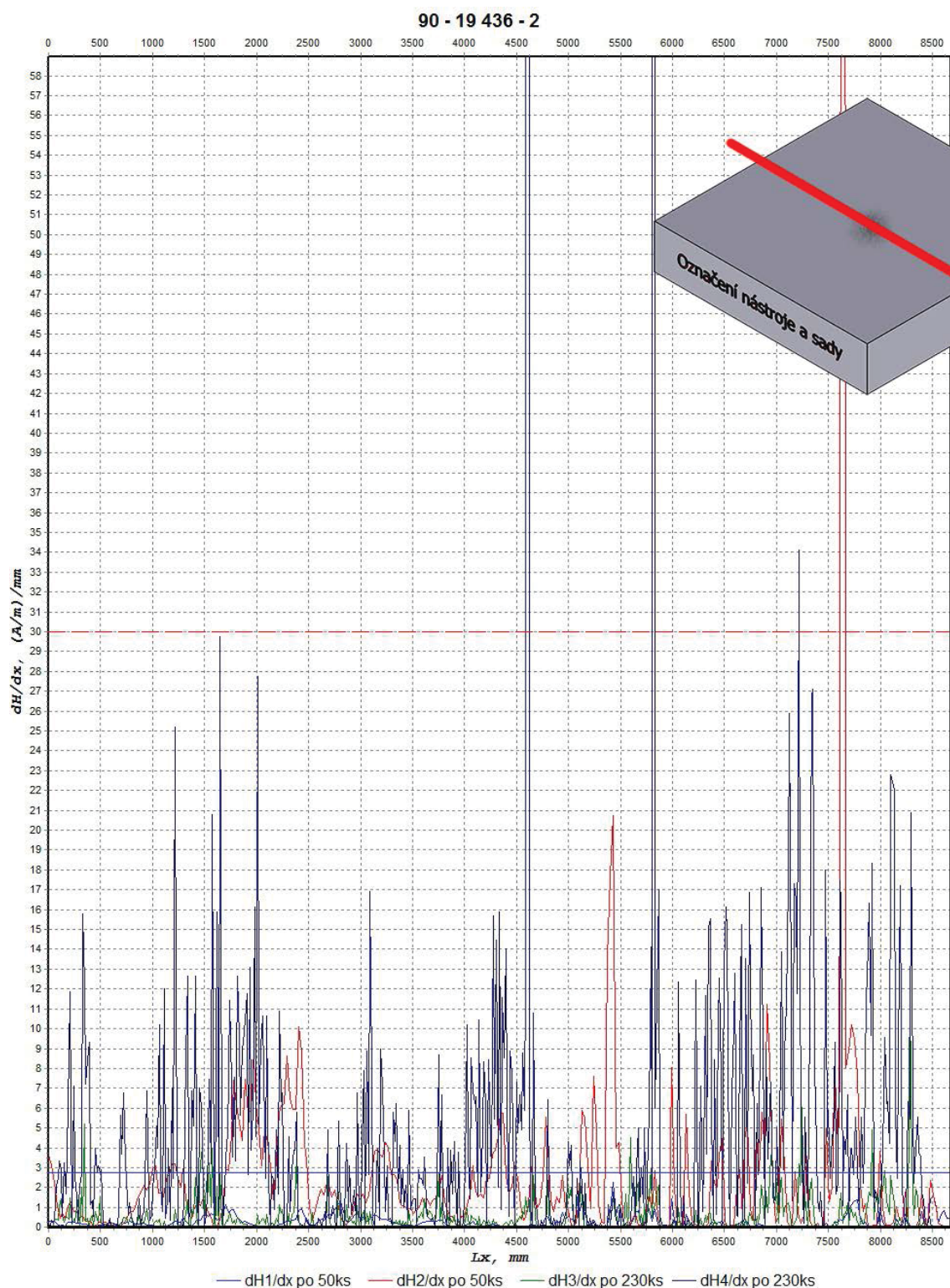
Obr. 58 koresponduje stejným vývojem jako předcházející obrázek (obr. 57). Lze tedy konstatovat, že nástroj vykazuje vyšší gradienty magnetického pole a již po 50ks je povrch poškozen. Tento stav se zhoršuje.



Obr. 59: Nástroj 19 436 první sady v ose X – porovnání měření po 50ks a 190ks

Magnetograf měřený kolmo oproti obr. 55 na stejné desce. Magnetograf vykazuje zvyšování gradientu magnetického pole po odlisování 190ks, je pravděpodobné, že na povrchu jsou trhliny.

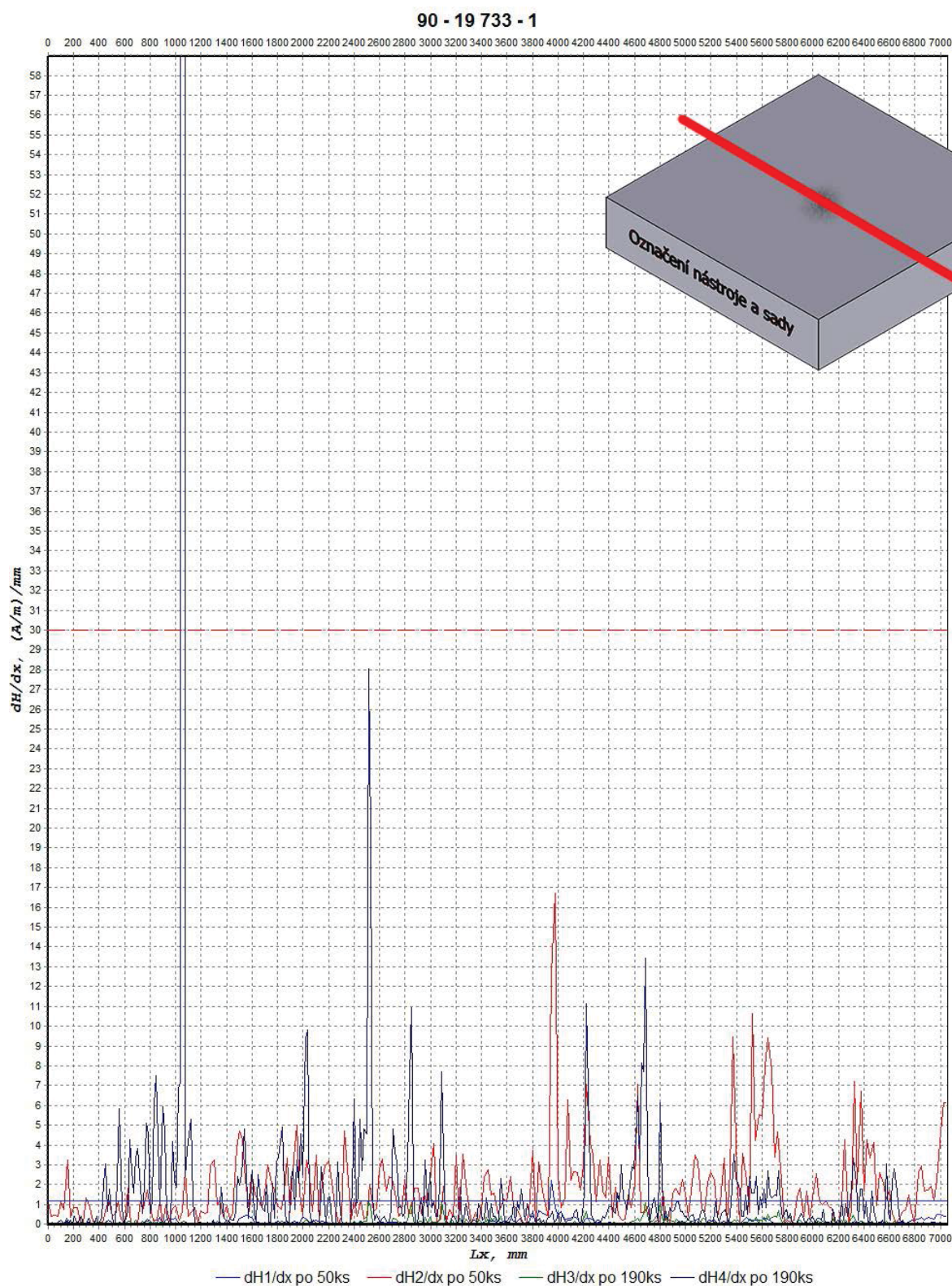




Obr. 60: Nástroj 19 436 druhé sady v ose X – porovnání měření po 50ks a 230ks

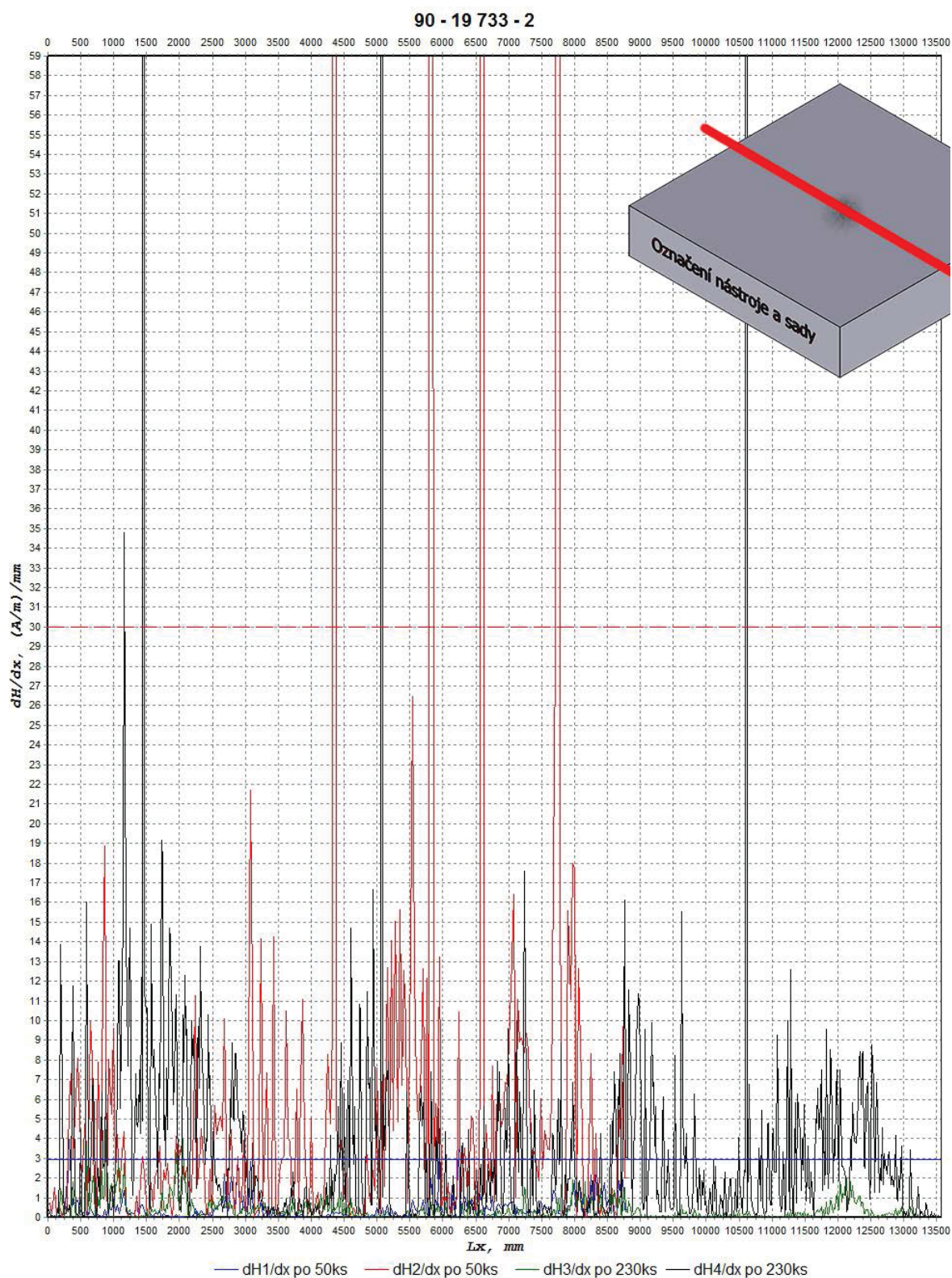
Obr. 60 ilustruje podobnou situaci na desce z druhé sady nástrojů. Na této sadě se lisuje polotovár z materiálu 11 523. Po odlisování 50ks se na povrchu objevuje vyšší gradient magnetického pole, lze očekávat trhliny.





Obr. 61: Nástroj 19 733 první sady v ose X – porovnání měření po 50ks a 190ks

Na obr. 61 dochází ke zvýšení gradientu magnetického pole po 190ks, lze očekávat trhliny.

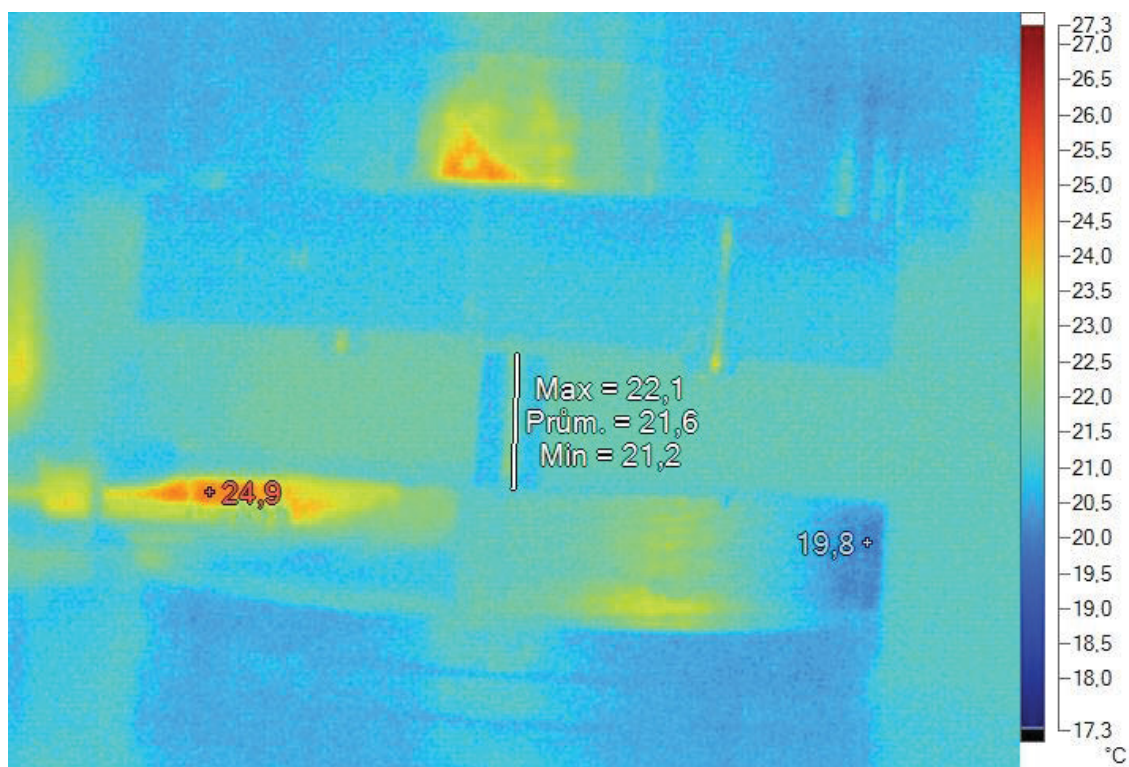


Obr. 62: Nástroj 19 733 druhé sady v ose X – porovnání měření po 50ks a 230ks

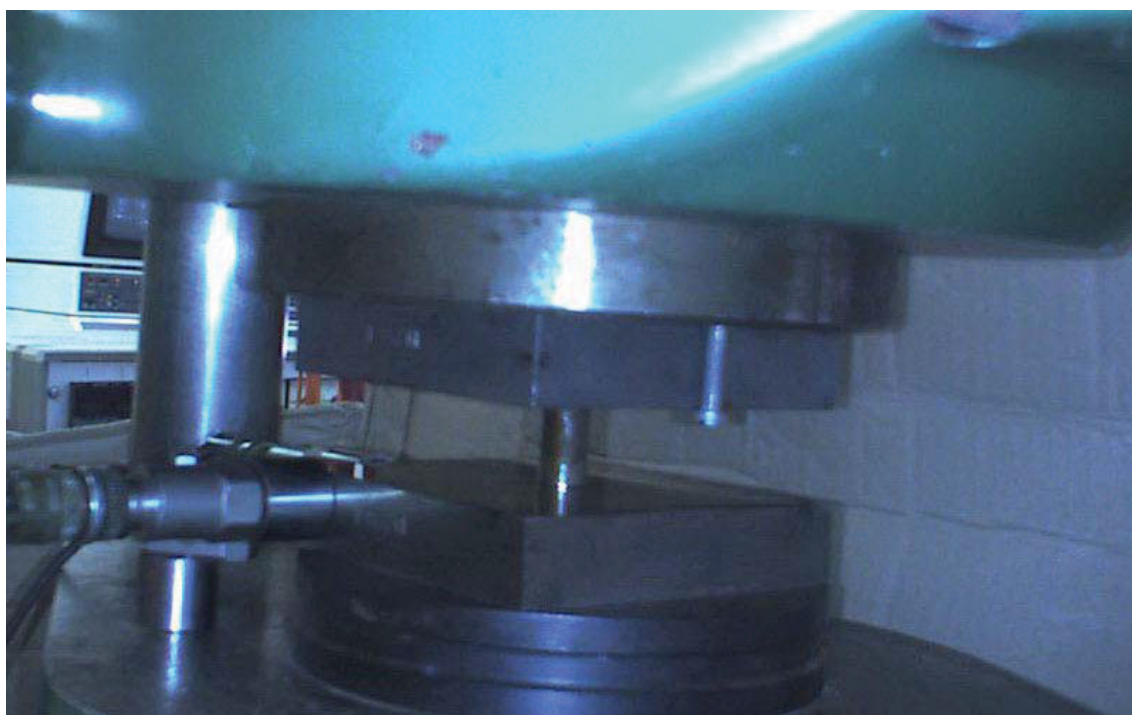
Obr. 62 ukazuje oproti předchozím obrázkům opačný vývoj. Dochází k poklesu gradientu magnetického pole.



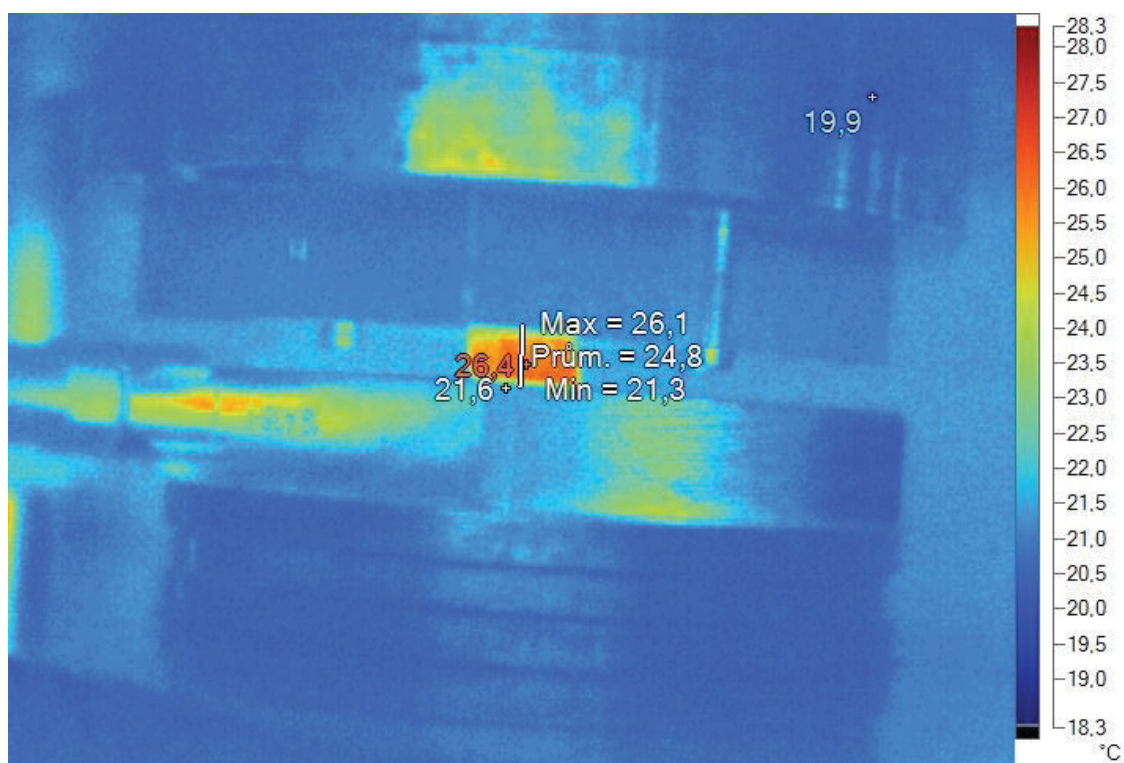
#### 4.4. Výsledky měření termovizní kamerou



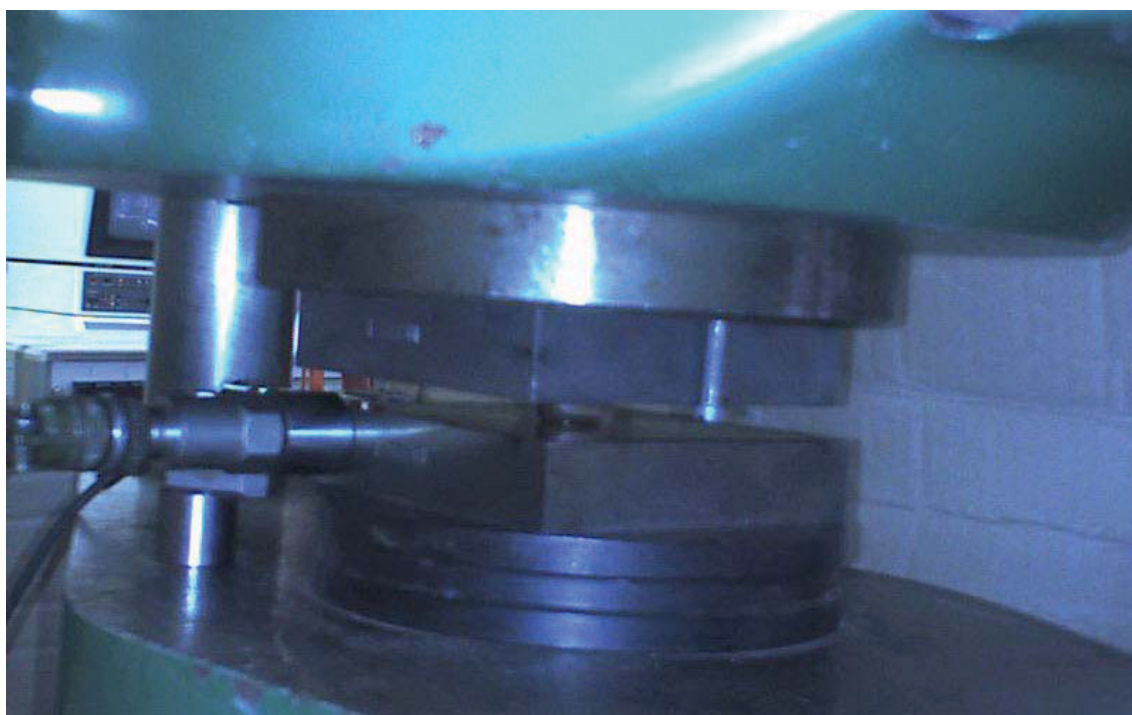
Obr. 63: Teplota před lisováním polotovaru z materiálu 11 523.3



Obr. 64: Situace před lisováním polotovaru z materiálu 11 523.3

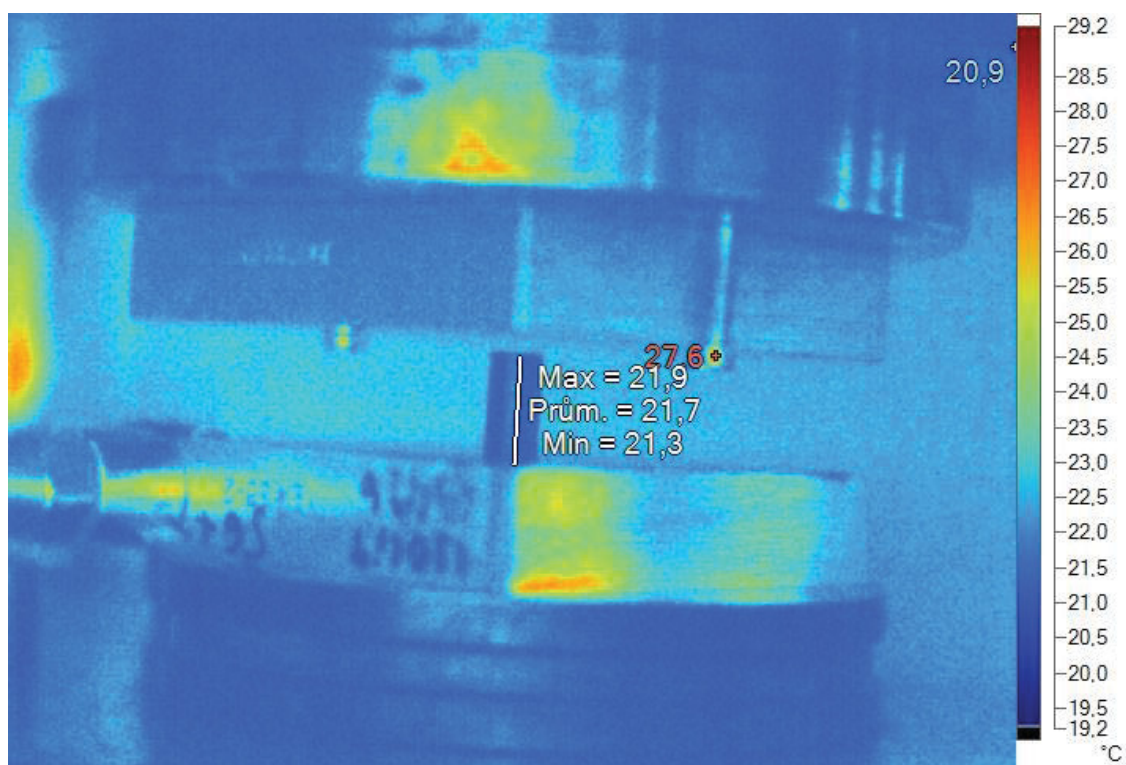


Obr. 65: Teplota na konci lisování polotovaru z materiálu 11 523.3

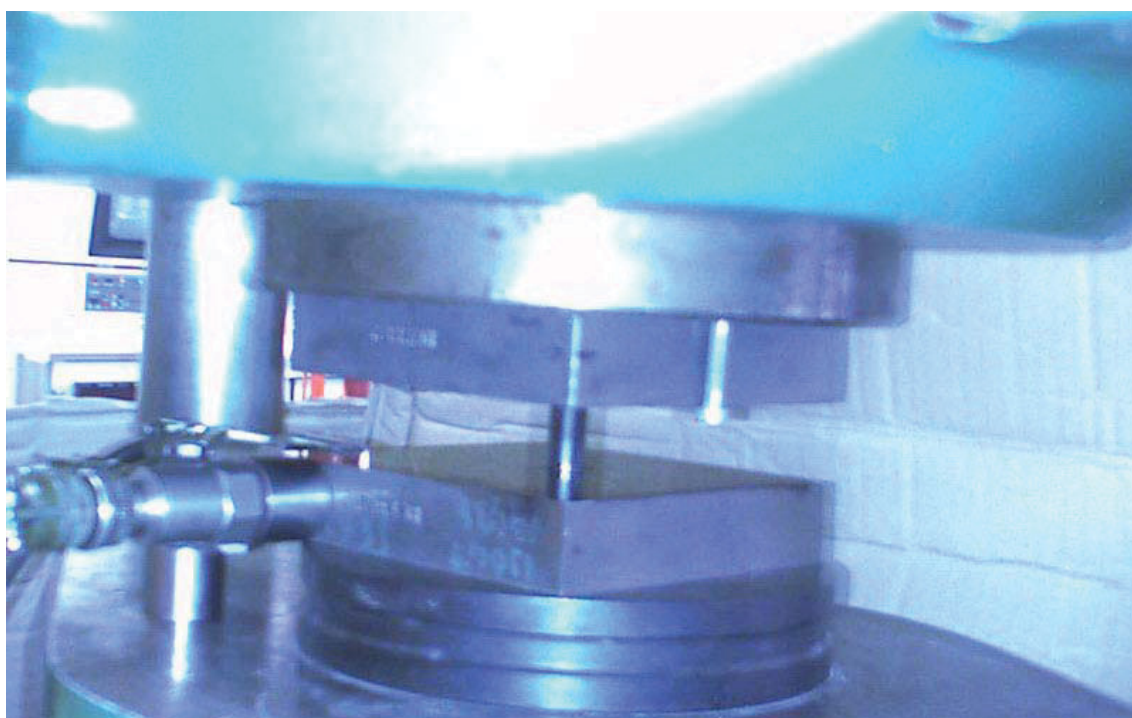


Obr. 66: Situace na konci lisování polotovaru z materiálu 11 523.3





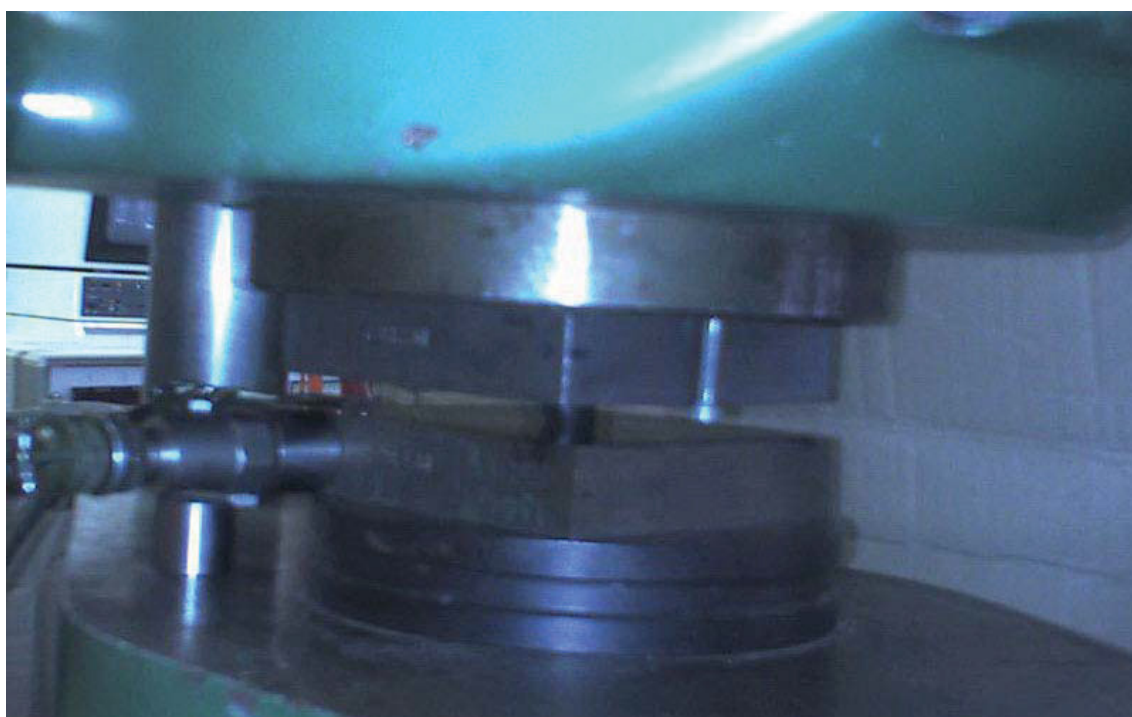
Obr. 67: Teplota před lisováním polotovaru z materiálu 14 220.3



Obr. 68: Situace před lisováním polotovaru z materiálu 14 220.3



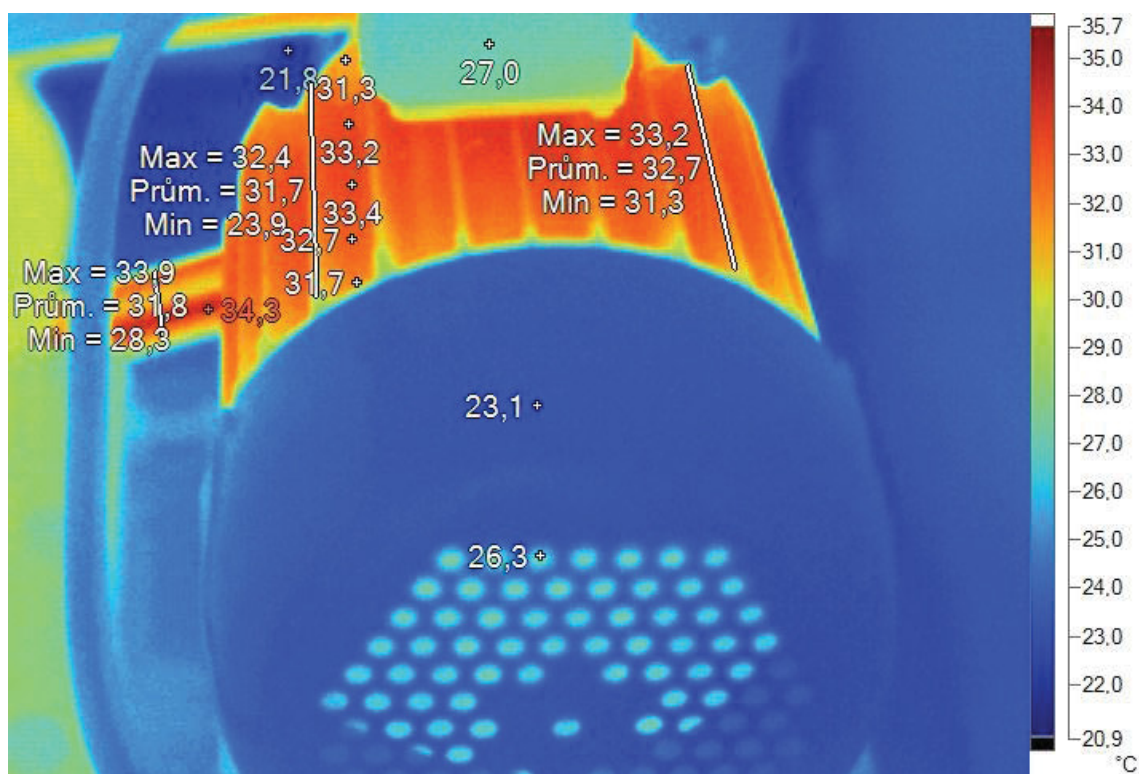
Obr. 69: Teplota na konci lisování polotovaru z materiálu 14 220.3



Obr. 70: Situace na konci lisování polotovaru z materiálu 14 220.3

Teploty naměřené během lisování (obr. 65, obr. 69) budou srovnány v další kapitole (4.5) s výsledky numerické simulace v software Qform.





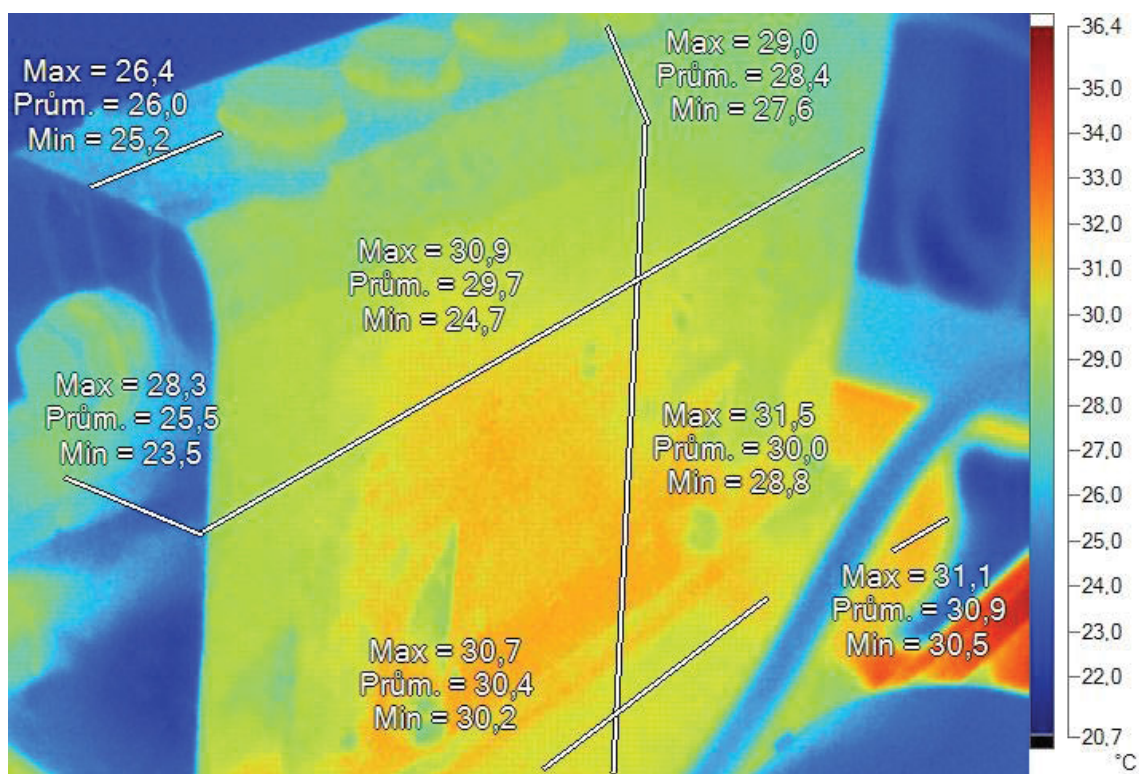
Obr. 71: Termovizní snímek motor v provozu



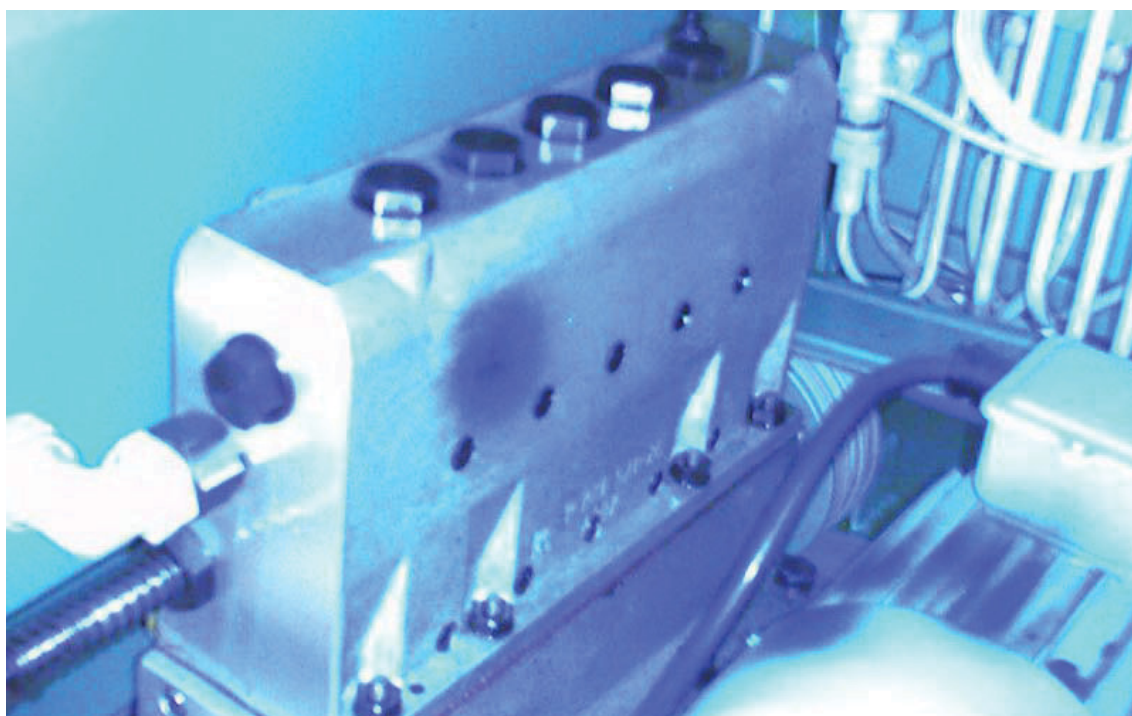
Obr. 72: Situace motoru v provozu

Na obr. 71 motor nevykazuje žádné lokální zvýšení teploty. Motor se nepřehřívá, nevykazuje žádnou abnormalitu, je v dobrém stavu. Černá místa na motoru jsou pokryta vrstvou Tetenal kameralack.





Obr. 73: Čerpadlo

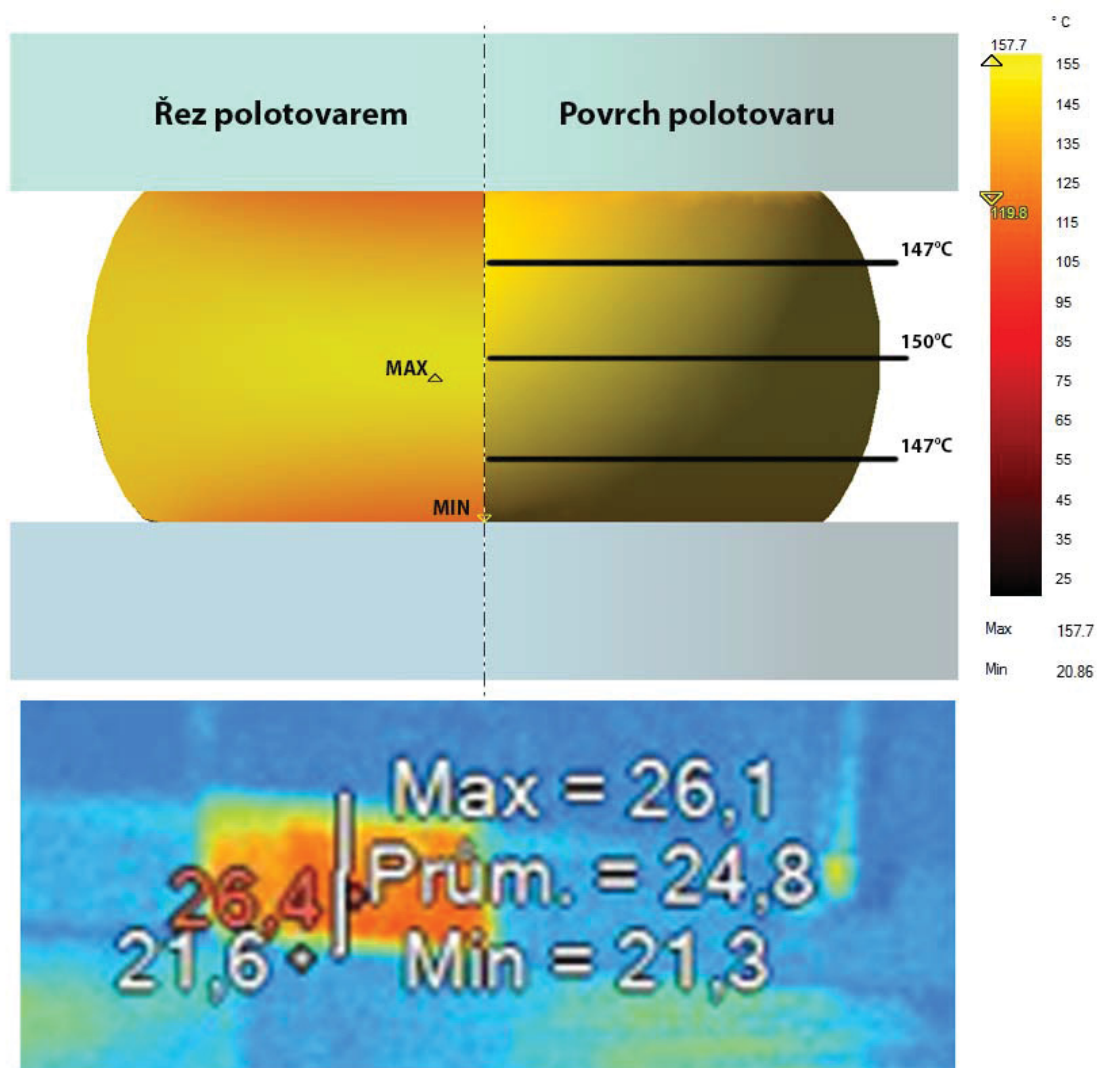


Obr. 74: Situace umístění čerpadla

Na čerpadle (obr. 73) se odráží teplo z motoru, povrch čerpadla je lesklý, nutné dokonalé odstínění odraženého tepla, které komplikuje celé zakrytování ústrojí. Černá místa na motoru jsou pokryta vrstvou Tetenal kameralack.

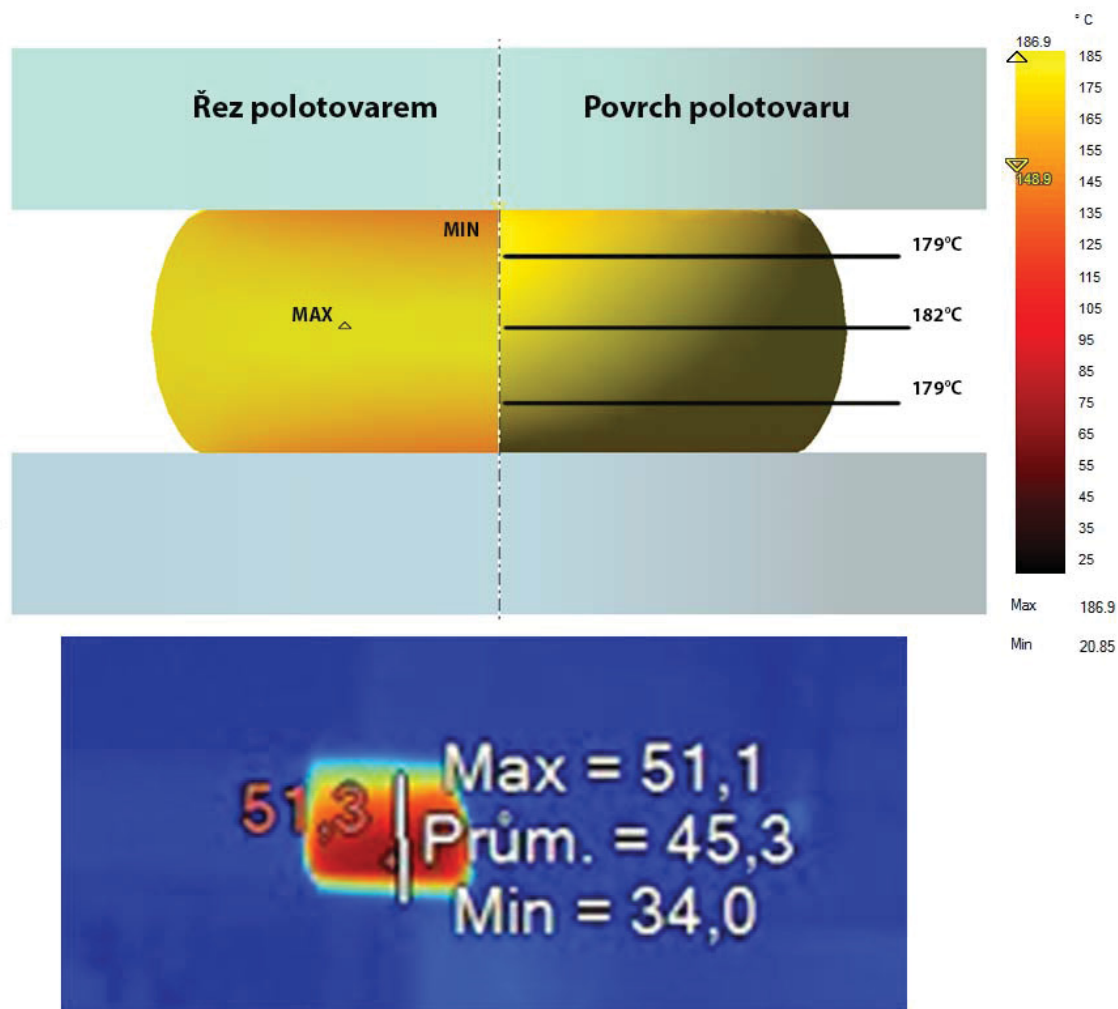
#### 4.5. Porovnání měření termovizní kamerou a výsledku výpočtu v simulačním software Qform3D

Obr. 75 zobrazuje rozdíl mezi naměřenými teplotami v reálném prostředí a simulaci. Je zde viditelný rozdíl teplot, kdy simulace oproti reálnému procesu vykazuje rozdíl cca 100°C.



Obr. 75: Porovnání teplot simulace a reálného procesu na materiálu 11 523.3

Obr. 76 zobrazuje rozdíl mezi naměřenými teplotami v reálném prostředí a simulaci. Můžeme pozorovat jistou analogii k předchozímu obrázku (obr. 75). Simulace zde vykazuje podobný rozdíl teplot jako v předchozím případě.



Obr. 76: Porovnání teplot simulace a reálného procesu na materiálu 14 220

## **5. Provozní vyhodnocení**

### **5.1. Vyhodnocení měření vibrací**

Naměřené údaje na motoru a čerpadle neindikují žádné závažné problémy. Obě zařízení jsou na hranici pásem A/B. Dle normy odpovídají strojům, které mohou být provozovány po neomezeně dlouhou dobu. V některých směrech dokonce vykazují vlastnosti nových přejímaných strojů.

Měření proběhlé na desce nelze srovnat s normou. Hodnoty naměřené na rozdílných materiálech vykazují velkou podobnost. Vzhledem k špatnému vedení stroje je část vibrací způsobena mechanismem stroje a část samotným procesem. Nelze vyvodit jednoznačný závěr z těchto dat.

### **5.2. Vyhodnocení měření metodou MMM**

Metoda metal magnetic memory byla použita na měření dvou párů nástrojů. Měření bylo provedeno po 50 odlisovaných vzorcích (měření 1, sada 1 a 2) a po 190 vzorcích (měření 2, sada 1), 230 vzorcích (měření 2, sada 2).

V tab. 8 jsou zapsány zjištěné údaje. Zeleně jsou označeny desky, na kterých nebylo zjištěno překročení gradientu magnetického pole, červeně jsou označeny desky, na kterých byl gradient překročen – je tedy pravděpodobný výskyt trhlin. Označením OK se rozumí stejný význam jako zelené označení. Číselná hodnota označuje počet překročení rozhodující hranice (výrobce doporučeno 30A/m/mm) gradientu magnetického pole.

Tab. 8: Výsledky měření metodou MMM

	Materiál	Úhel/měření			
		0°/1	0°/2	90°/1	90°/2
Sada 1	19 436	OK	OK	1	3
	19 733	2	15	OK	1
Sada 2	19 436	1	3	1	3
	19 733	4	5	4	3

Vypovídající hodnota údajů je zkusena ručním posuvem měřicí sondy, tím mohlo dojít k přejetí daného místa poruchy. Dle doporučení výrobce diagnostického zařízení mohu konstatovat, že pouze materiál 19 436 v sadě 1 neobsahuje po druhém měření žádné výrazné napětí indikující trhlinu.

### 5.3. Vyhodnocení termo-snímků

Za účelem objektivizace technického stavu čerpadla a motoru byla provedena měření za pomoci termovize. Rozbor těchto měření neprokázal zvýšené teploty a mohu tak konstatovat, že měření neodhalilo žádné defekty. Nutné odstínění pro získání správných údajů. Teplota motoru a čerpadla může být zkusena zakrytáváním celého ústrojí. Abych zajistil správnost měření, tak jsem na čerpadlo a motor nanesl vrstvu Tetenal kameralacku.

Při analýze hodnot získaných při měření teploty zkušebních válečků a simulace procesu došlo ke zjištění rozdílu cca 100÷150°C. Tento významný rozdíl přisuzuji výpočetním omezením simulačního software, kde nejsou zahrnuty všechny aspekty procesu, jako nelineární průběh rychlosti deformace, změna plochy která odvádí teplo do okolí, popřípadě proudění vzduchu.



## 6. Seznam použité literatury

- [ 1 ]      *Snímače vibrací* [online]. 4. 12. 2012, dostupné z:  
    <[http://www.337.vsb.cz/materialy/zaklady\\_experimentalni\\_mechaniky/EXPME\\_4.pdf](http://www.337.vsb.cz/materialy/zaklady_experimentalni_mechaniky/EXPME_4.pdf)>
- [ 2 ]      *Proximity Transducers, Seismic Sensors and Accessories*. [online]. 4. 12. 2012, dostupné z: <<http://www.provibtech.com/pdf/TM0180-TM0105.pdf>>
- [ 3 ]      *Měření a diagnostika vibrací*. [online]. 4. 12. 2012, dostupné z:  
    <[http://www.rss.tul.cz/download/tdg/P8\\_vibrace%20\\_ESF.pdf](http://www.rss.tul.cz/download/tdg/P8_vibrace%20_ESF.pdf)>
- [ 4 ]      Tůma J.. *Diagnostika strojů*. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2009. 138 s. ISBN 978-80-248-2116-0
- [ 5 ]      *Examiner 1000* [ online ]. 4. 12. 2012, dostupné z:  
    <<http://www.intech2000.com/downloads/web/41/41.2/Applying%20Examiner.pdf>>
- [ 6 ]      *Adash* [ online ]. 4. 12. 2012, dostupné z: <<http://www.adash.cz>>
- [ 7 ]      *Automatizace.hw.cz* [ online ]. 6. 1. 2013, dostupné z:  
    <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>>
- [ 8 ]      OMEGA Engineering – technické reference [ online ]. 6. 1. 2013, dostupné z: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/Accelerometers.html>>
- [ 9 ]      *Preditest – Predikce – Diagnostika – Testování* [ online ]. 16. 1. 2013, dostupné z:  
    <<http://preditest.cz/epe/download.php?m=content&i=399&f=Preditest-MMM.pdf>>
- [ 10 ]      *Jak začít provádět vibrační diagnostiku* [ online ]. 16. 1. 2013, dostupné z: <[http://adash.cz/doc/ApplicationNotes/jak\\_snadno\\_zacit\\_man\\_cz.pdf](http://adash.cz/doc/ApplicationNotes/jak_snadno_zacit_man_cz.pdf)>
- [ 11 ]      *Nástrojová ocel 1.2550 JZK Bučovice a.s.* [ online ]. 19. 1. 2013, dostupné z: <<http://www.jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12550>>
- [ 12 ]      *Nástrojová ocel 1.2080 JZK Bučovice a.s.* [ online ]. 19. 1. 2013, dostupné z: <<http://www.jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12080>>
- [ 13 ]      HELEBRANT F., MONI V., BLATA J.: *Studijní podklady – termografie . Detekce měření různých druhů záření*. Ostrava 2010
- [ 14 ]      MMM System - NDT and Diagnostics System. Energodiagnostika Co. Ltd. *Testers of Stress Concentration TSC-3M-12 Energodiagnostika Co. Ltd.* [

- online ]. 1. 2. 2013, dostupné z:  
<<http://www.mmmsystem.com/pages/tsc3m.htm>>
- [ 15 ] Fluke Ti55 Industrial-Commercial Thermal Imager [online]. 2. 2. 2013, dostupné z: <<http://teplovizo.ru/photo/fluke/fluke-ti55.jpg>>
- [ 16 ] Uživatelská příručka Ti55 *Fluke corporation*. [ online ]. 2. 2. 2013, dostupné z: <[http://assets.fluke.com/manuals/flexcam\\_umeng0200.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/flexcam_umeng0200.pdf)>
- [ 17 ] KREIDL, Marcel. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. ISBN 80-730-0158-6.
- [ 18 ] Temporary Mounting of Proximity Probes *Reliabilityweb.com*. [ online ]. 2. 2. 2013, dostupné z:  
<[http://reliabilityweb.com/index.php/articles/temporary\\_mounting\\_of\\_proximity\\_probes](http://reliabilityweb.com/index.php/articles/temporary_mounting_of_proximity_probes)>
- [ 19 ] Temporary Mounting of Proximity Probes *Reliabilityweb.com*. [ online ]. 2. 2. 2013, dostupné z:  
<[http://reliabilityweb.com/index.php/articles/temporary\\_mounting\\_of\\_proximity\\_probes](http://reliabilityweb.com/index.php/articles/temporary_mounting_of_proximity_probes)>
- [ 20 ] ČSN ISO 10 816. Vibrace - Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech: Část 1: všeobecná směrnice. Praha: Český normalizační institut, 1998. Dostupné z: <http://www.unmz.cz>
- [ 21 ] AHLBORN MESS UND REGELUNGSTECHNIK. *Proktinformation Senotherm - LACK: TypenReie 1653* [pdf]. 5 s. [cit. 1.4.2013].
- [ 22 ] *Adash 4900 - Vibrio III* [ online ]. 16. 1. 2013, dostupné z:  
<[http://www.adash.cz/doc/a4900/a4900\\_v3\\_man\\_cz.pdf](http://www.adash.cz/doc/a4900/a4900_v3_man_cz.pdf)>
- [ 23 ] AC-Elektromotor: Asynchronmotor - LSES IE2 - LEROY-SOMER *DirectIndustry* [online]. 2. 5. 2013, dostupné z: <  
[http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-g/ac-elektromotor-asynchronmotor-8355-3067341.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/ac-elektromotor-asynchronmotor-8355-3067341.jpg)>
- [ 24 ] Diagnostická tabulka BERRY 2006 *SKF Ložiska a.s., Lumír KOLAŘ*  
2. 5. 2013, dostupné z: <http://skf.com>
- [ 25 ] Rentka J., *Analýza technologie ohýbání trubek*. Ostrava, 2009.  
Diplomová práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie.

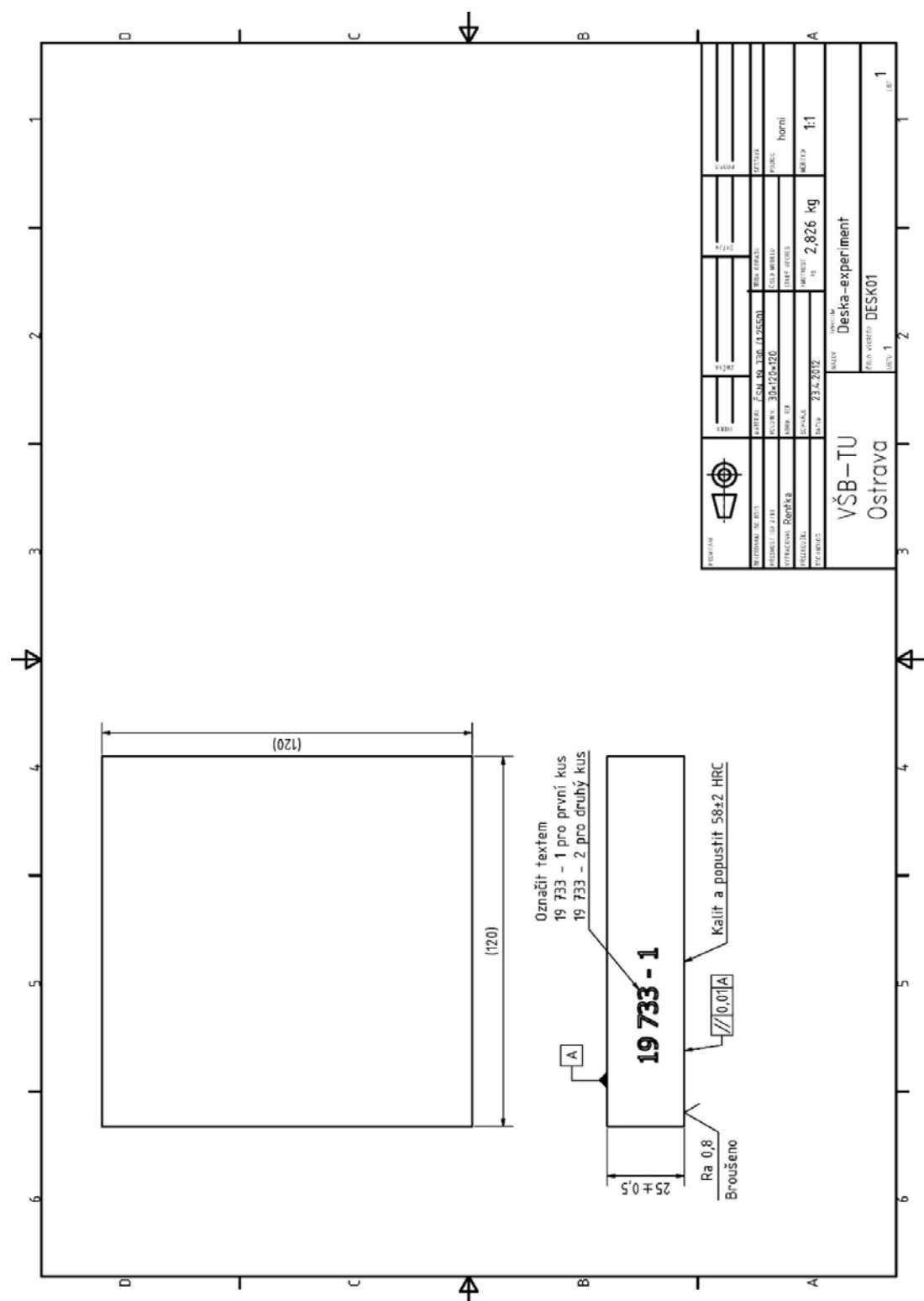


Chtěl bych poděkovat Ing. Janu Blatovi, Ph.D.  
Za obětavou pomoc při vypracování diplomové práce.

V Králíkách dne 23. Května 2013

## 7. Přílohy

**A. Výkres nástroje první a druhé sady z materiálu**  
**19 733**



**B. Výkres nástroje první a druhé sady z materiálu**  
**19 436**

